永远的费曼

《走近费曼丛书》合集（套装共8册）

FOREVER FEYNMAN



VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

目　录

别逗了，费曼先生！
费曼手札：不休止的鼓声
费曼语录
费曼讲物理：入门
费曼讲物理：相对论
物理定律的本性
费曼讲演录：一个平民科学家的思想
QED：光和物质的奇妙理论

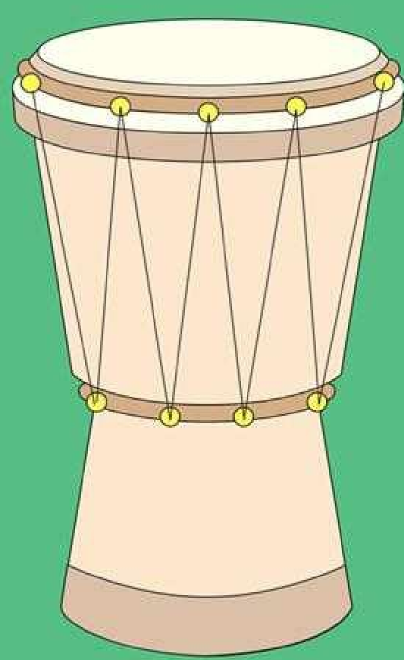
别逗了，费曼先生！

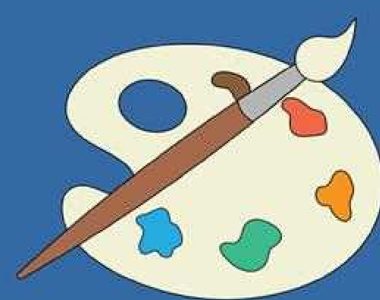




SURELY YOU'RE JOKING, MR. FEYNMAN!

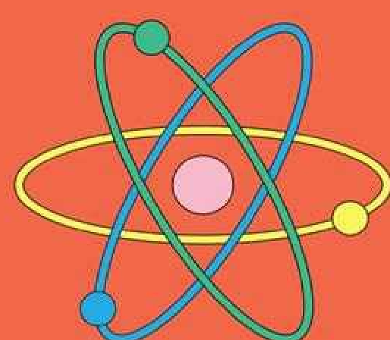
ADVENTURES OF A CURIOUS CHARACTER





最有趣的天才物理学家

费曼畅销自传



[美] 理查德·费曼

[美] 拉尔夫·莱顿 著

王祖哲 译

Richard P. Feynman

湖南科学技术出版社

版权信息

别逗了，费曼先生！

著者：[美]理查德·费曼　[美]拉尔夫·莱顿

翻译：王祖哲

责任编辑：吴炜　贾平静　李蓓

装帧设计：邵年　汪赵冲

ISBN：9787571000189

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息

Richard P.Feynman

诺顿平装本手记

前言

导言

第1部分 从法洛克维到麻省理工学院

　　他动动脑袋瓜子就能修好收音机！

　　菜豆

　　谁偷了门

　　拉丁语还是意大利语？

　　总想逃避

　　米特普拉斯特公司的首席化学家

第2部分 在普林斯顿大学的岁月

　　“别逗了，费曼先生！”

　　我——！

　　猫地图？

　　魔鬼头脑

　　搅和油漆

　　别具一格的工具箱

　　测心术

　　业余科学家

第3部分 费曼，炸弹和军队

　　嘶嘶的信管

　　考验猎犬

　　从低处看洛斯阿拉莫斯

撬锁贼碰到了撬锁贼
山姆大叔不要你了
第4部分 从康奈尔大学到加州工学院，接触巴西
进派头的教授
有问题吗？
我要我的一块钱！
你就这样问她们？
幸运数字
又是这个美国人！
什么话都会说
照您吩咐的，老大！
盛情难承
第5部分 一个物理学家的世界
你解狄拉克方程吗？
百分之七的答案
十三次
“鸡母牛，鸡母牛！”
但那是艺术吗？
电是火吗？
书好书坏，看看封面
诺贝尔的另一个错误
把文化带给物理学家
巴黎见分晓
另类状态
野狐禅科学
译后记

Richard P.Feynman

我一生的几个事实：我于1918年出生在纽约郊区的一个名叫法洛克维的小镇子，靠海边。我在那儿一直生活到1935年，那时我十七岁。我到麻省理工学院待了四年，然后，大约是在1939年，我到了普林斯顿大学。在普林斯顿那段时间，我开始参加“曼哈顿计划”，最后在1943年4月到了洛斯阿拉莫斯，一直待到1946年10月或者11月左右，然后我到了康奈尔大学。

1941年我和阿琳结婚。我在洛斯阿拉莫斯期间，在1946年，她死于肺结核。

我在康奈尔大学一直待到大约1951年。我在1949年夏天访问了巴西，1951年又在那儿待了半年，然后到了加州理工学院，以后就一直待在那儿。

1951年末我在日本待了几个星期，一两年之后，我和我的第二个妻子玛丽·娄又去了趟日本。

我现在和格温妮丝结了婚，她是英国人。我们有两个孩子，卡尔和米歇尔。

理查德·费曼

诺顿平装本手记

拉尔夫·莱顿（Ralph Leighton）

《别逗了，费曼先生！》付梓至今，已逾十载，可是读者对费曼的兴趣，正方兴未艾。这使我想起了他在风烛残年之时，经常说的一句话，说话之时，双眸生辉：“我还没死！”

前言

拉尔夫·莱顿

本书中的这些故事，是我在和理查德·费曼高高兴兴打鼓的七年之间，零散而随意地积累起来的。我发现，每段故事，各有异趣，连掇成集，竟成大观。一个人的一辈子，竟然能发生这么多奇妙而发疯的事情，有时令人难以置信。那个人在他的一生中，能发明这么多本出无心的恶作剧，亦足可启愚化钝！

导言

阿尔伯特·希伯斯（Albert R.Hibbs）

加州理工学院喷气推进实验室

对理查德·费曼的追忆，我希望本书并非绝无仅有。当然，这里的这些回忆文字，为这个人物大致描绘了一幅真实的画面——他对难题的几乎难以抑制的需要，他那些令人恼火的恶作剧，他对装腔作势和假装正经的愤恨和急躁，以及他能把那些试图放挺他的人放挺的本事！这是一本很棒的读物：挥霍无忌、惊世骇俗，却仍然温馨，很有人情味儿。

尽管如此，本书仅仅是稍微触及了他的人生根本：科学。我们在这里或那里，能够看到，作为背景材料，科学只是一笔带过，而不是作为他的人生焦点来处理的，但他一代一代的学生和同事，都知道科学在他的生活中的分量。或许本书也只能这样来写。要把关于他和他的工作那些爽人心神的故事组织起来，或许也真的没有办法：挑战与挫折，得到慧见时的兴奋，科学的理解带来的深深的喜悦，这才是他的人生快乐之源。

我记得，在我做他的学生听他讲课的时候，是个什么情景。他站在讲堂之前，微笑着看我们进来，用指头在前排长椅的黑色靠背上敲打着一种复杂的节奏。迟到的人就座之后，他拿起一支粉笔，粉笔在他的手指之间飞快地旋转，好像一个职业赌徒在玩儿一副扑克牌，他仍然微笑着，好像心里藏着个什么笑话。然后——仍然在微笑——他对我们讲物

理学，讲他的图表和方程式，帮助我们分享他的真知灼见。他的笑容，他眼中的闪光，并非来自什么秘密的笑话，而是来自物理学。物理学带来的这种快乐！这种快乐是有传染性的。我们受到了这种感染，是很幸运的。现在，你也有机会来感受费曼风格的快乐了。

第1部分　从法洛克维到麻省理工学院

他动动脑袋瓜子就能修好收音机！

我十一二岁的时候，在家里搞了个实验室。它由一个旧木头包装箱构成，我在里头加了搁板。我有个加热器，我平时把肥油放里边做炸薯条。我还有个蓄电池和一个电灯排。

为了做这个电灯排，我上小杂货店弄了些插座，用螺丝钉固定在木座上，然后用电铃线把它们串起来。通过开关以不同的方式把灯泡连接起来——串联的和并联的——我知道我能够得到不同的电压。但我没意识到灯泡的电阻决定于它的温度，因此我计算的结果和这个电路弄出来的东西不一样。但不妨事的，灯泡串联起来的时候，都半亮着，它们都*发发发发发*光，很漂亮——棒！

我在系统里装了保险丝，所以哪儿一短路，保险丝就烧了。现在我必须弄到比我家里的保险丝弱一点的那种，我就自己造保险丝，方法是把锡纸包在一段烧坏了的保险丝上。我在保险丝的那头安了个5瓦的灯泡；保险丝烧了的时候，总在给蓄电池充电的点滴式充电器出来的电，会把灯泡点亮。灯泡在配电盘上，在一片褐色的糖果纸后面（后面的灯一亮，糖果纸就发红）——因此，如果哪儿出了娄子，我就会看配电盘，撑不住劲的保险丝那儿就会有一个大红点。好玩哦！

我喜欢玩收音机。我先是从商店里买了个矿石收音机，在夜里，我在床上将睡未睡的时候，用耳机听。

父母晚上出去要很晚才回来的时候，他们就来我房间，把耳机拿开

——担心我在睡着的时候，别有什么玩意儿在我脑袋里闹腾。

大约是在那个时候，我发明了一个防盗铃，一个简单的傻玩意儿：那不过是一个大电池，用电线连着一个铃儿。我房间的门一开，门就把电线推到电池上接通了电路，那铃就响了。

有天晚上，我妈妈和爸爸外出回来，蹑手蹑脚的没一点儿声音，怕吵着孩子啊，开了我房间的门，好拿开耳机。突然之间，那个巨大的铃儿震天价地响起来——乒乒乒乒乒！我大叫着从床上跳了下来："管用啊！管用啊！"

我有个福特线圈——从一辆汽车上卸下来的打火线圈——我把打火端弄在我的配电盘上。我打算在打火端装个Rathenon　RN电子管，里头是氩气，火花会在真空里产生紫色的亮光——那可真叫棒！

有一天，我正在玩那个福特线圈，用火花在纸上打窟窿，把纸给点着了。我很快就拿不住那纸了，因为快烧到我的手指了，我就把它扔在装满报纸的字纸篓里。你知道，报纸烧得很快，在屋子里，火苗显得挺大。我关了门，那样我妈妈就发现不了我房间里起火了——她跟朋友在客厅里打桥牌呢，我从近旁抓了一本杂志，盖在字纸篓上想把火闷熄。

火灭了之后，我拿开杂志，但房间里都是烟。字纸篓还是烫得没法儿动，我就用钳子把它拖过房间，把它弄到窗户外散烟。

可是外面刮着小风，又把火吹着了，而我也够不到那本杂志了。所以我又从窗口把字纸篓拖了回来，好去拿杂志。我注意到窗户上有帘子——非常危险啊！

还好，我拿到了杂志，又把火扑灭了。这次我抓着杂志不放，把字纸篓里发红的火炭抖落到两三层楼下的街上。

然后，我出了屋子，随手把门带上，对我妈妈说，“我去玩了”，烟慢慢从窗子里冒着。

我还用电动机干了一些事情，还为我买的一个光电池造了一个放大器；当我把手放在这个电池前面的时候，这个光电池能把一个铃儿弄响。我想做的事很多，但没能都做到，因为我妈总不让我在家待着。但我常常在家里，摆弄我的实验室。

我从清仓大甩卖那儿买了几个收音机。我没什么钱，但东西不贵——都是旧收音机，坏了的。我买来，想修好。毛病通常不大——一眼就看到有电线松了，线圈断了，或者有些地方没缠紧——因此，我还真能让几个收音机响起来。有一天晚上，我从一个收音机里听到了在得克萨斯州韦科（Waco）[1]市的“韦科广播电台”——这可太刺激了！

在我的实验室里，用的还是这同一个电子管收音机，我听到了施奈克忒底（Schenectady）[2]市的一家叫WGA的电台。现在，我们这些小孩子——我的两个堂兄弟、我妹妹，还有邻居家的小孩儿——都在楼下听收音机，听一个叫《伊诺犯罪俱乐部》的节目——伊诺泡腾盐赞助的——就这玩意儿！我发现，在楼上我的实验室里，我能提早一小时听到在纽约播出的这个WGA的节目！因此，我知道什么事儿将会发生，然后，当我们大家都在楼下围着收音机坐成一圈听《伊诺犯罪俱乐部》的时候，我会说：“你们大家知道，我们好久没听到什么人的声音了。我敢打赌，他会来，来挽回局势。”

两分钟后，嘀嗒，他来了！大家果然欢呼雀跃，我还预言了另外几件事。于是他们才意识到这里头一定有什么门道——不知怎么，我必定知道这个门道。因此，我也就爽快地承认了是怎么回事，我们可以在楼上提前一小时听这个节目。

很自然，你知道这会有什么结果。现在，这一小时，他们是等不得

了。他们都到楼上，在我的实验室里，守着这台叽叽嘎嘎的收音机半小时，听施奈克忒底市的《伊诺犯罪俱乐部》。

那时我们住在一所大房子里；那是我爷爷留给他的孩子们的，这些孩子也没有很多钱搬到别处去住。那是个很大的木头房子。我在房子外边把电线拉得到处都是，在每个房间里都装了插座，这样我总能听那台在楼上的收音机。我还有一个喇叭——不是一个完整的喇叭，没有喇叭口儿。

有一天，我戴着耳机，我把耳机连到喇叭上，我发现了一点儿东西：我把手指头放在喇叭里，而我从耳机里能听到这个。我用指甲刮喇叭，而我能从耳机里听到这刮擦声。因此，我发现，喇叭能有耳机那样的作用，而且你甚至不需要电池。在学校里，我们讲到亚历山大·格雷汉姆·贝尔（Alexander Graham Bell），我就把这个喇叭和耳机演示了一番。我不知道这就是电话，但我想这就是贝尔当初用的电话。

因此，我现在有了一个麦克风，我可以从楼上向楼下、从楼下向楼上广播了，用的是我在清仓大甩卖那里买来的放大器。那时，我妹妹琼（她比我小9岁）一定也有两三岁了，电台上有个叫唐叔叔的家伙，她喜欢听他的节目。他唱些《好孩子》之类的小儿歌，还念父母们寄去的卡片，说“住在弗莱特市布什大街25号的玛丽什么什么的这个星期六过生日”。

一天，我堂弟弗兰西斯和我把琼安顿坐下来，说有一个特别节目，她应该听听。然后，我们跑到楼上，开始广播：“我是唐叔叔。我们认识一个名叫琼的可爱的小女孩儿，她住在新百老汇。她快过生日了——不是今天，而是哪天哪天。她是个聪明伶俐的小姑娘。”我们唱了一首儿歌，然后我们播放音乐：“嘀哆哩嘀，嘟哆噜嘟；嘀哆嘀哆哩，嘟哆噜嘟嘟……”我们把这一整套节目弄完了，然后下了楼：“怎么样？你喜欢这节目吗？”

“很好哦，”她说，“可你们为什么用嘴巴弄音乐呀？”

有一天，我接了一个电话：“先生，您是理查德·费曼吧？”

“是。”

“我这儿是家旅馆。我们有台收音机出了毛病，想修修。我们知道您或许能帮点儿忙。”

“可我不过是个小孩儿啊，”我说，“我不知道怎么……”

“是啊，这个我们知道，不管怎么样，您还是来一趟吧。”

那家旅馆是我姑妈开的，但我还不知道呢。我就到了那儿——他们到现在还讲这故事呢——带着一把螺丝刀，插在后裤袋里。哈，我很小，什么螺丝刀在我后裤袋里看起来都挺大。

我跟收音机忙活上了，想把它修好。它什么毛病，我一点儿也不知道，但旅馆里还有个打杂的，或许是他注意到了，或许是我先看见了，可变电阻上的一个旋钮，就是用来调节音量的那玩意儿，松了，所以拉不动轴了。他到一边去锉了个什么东西，然后装好了，事儿就办妥了。

我修理的下一台收音机，完全没声儿。这个容易：插头插得不对。修理的东西越来越复杂了，我的本事也越来越好，越来越精到了。我在纽约买了个毫安表，把它改造成了个伏特计，上面有不同的刻度，方法是用经过我计算过的合适长度的上好铜线。它不很精确，但还是足够好的，能测准那些收音机的不同接点是不是正常。

大家雇我干活儿，主要原因是大萧条。他们拿不出钱修收音机，他们听说这个小孩儿钱少也愿意干。于是我就爬到房顶上修天线，以及诸如此类的事情。问题越来越难，我就得到了一系列的教训。最终我干的

活儿是把直流电收音机改为交流电的，要想把嘈杂声从系统里去掉，不是一件容易的事情，我做得也不很好。我不该弄不好，可是不知道怎么弄。

有个活儿干得实在轰动。那时我在为一个搞印刷的工作。有个人，认识那个搞印刷的，知道我在找修理收音机的活儿，于是他就派了个伙计到印刷所来找我。那家伙明显很穷，那汽车快报废了——我们就到了他家，在城里的穷人区。在路上，我说："收音机什么毛病？"

他说："我开了它，它就出噪声，过了一阵子，那噪声就停了，一切正常了，但是我不喜欢开始时的那个动静。"

我心里想："见鬼！要是他没钱，他就该暂且忍一忍那点儿噪声。"

在去他家的路上，他一个劲儿地唠叨："你明白收音机，是吧？你怎么明白收音机的——你还是个小孩儿嘛！"

他一路上都在拿我开涮，我心里想："这人什么毛病？一点儿噪声，有什么要紧的。"

但等我们到那儿的时候，我把收音机打开。一点儿噪声？我的天啊！怪不得这可怜的家伙受不了。这东西开始咆哮加上哆嗦——哇啊哇啊啊啊啊啊——声音大得不得了，接着，它安顿下来，运行正常。我就想："这是怎么了啊？"

我开始来回踱步，想辙，我想到，发生这种情况，有可能是电子管发热的次序不对——就是说，放大器全热了，电子管准备好了要工作，可是电子管没有得到什么输入，或者说有某种逆着电路走的输入，或者说在开始的部分（射频部分）有毛病了，因此它才产生了这么大的噪声，是在拾起什么东西。当射频电路最终运行起来的时候，栅极电压得到了调整，一切也就正常了。

那家伙就问我：“你磨蹭什么啊，你是来修收音机的，可你光在这里走来走去的！”

我说：“我在想辙哪！”接着我在心里说：“好吧，把电子管拿出来，把机器里的次序来个大颠倒。”（那年头的许多收音机，在不同的地方用的是相同的电子管——我想是212-A的那种——兴许也是214-A的。）因此我把电子管都改了，再把收音机打开，它安静得像只小绵羊：它等着热起来，然后运行完美——噪声没了。

当一个人对你瞧不上眼的时候，而你接着就做出了像这种真能挽回面子的事儿，那他们通常对你就百分之百地另眼相看了。他又给我弄了一些活儿，逢人就说我是个多么了不得的大天才，说：“他动动脑袋瓜子就能修好收音机！”一个小孩子，停下来想了一阵子，就能琢磨出怎么个弄法——思想，这个东西，能用来修理收音机——他压根儿没想到这事儿是可能的。

在那年头，收音机的线路容易理解得多，因为什么玩意儿都摆在外边。你把收音机拆开（找到你该扭的螺丝钉倒是个大问题），你就看出这是个电阻器，那是个电容器，这儿是这么个东西，那儿是那么个东西；什么东西都贴着标签呢。如果蜂蜡从电容器上滴下来，那就是它太热了，你可以知道电容器给烧坏了。如果在某个电阻器上有黑炭，你知道麻烦出在哪儿。或者，假定你单凭看却看不出个究竟，你可以用伏特计来测它，看看是不是有电压。收音机很简单，线路也不复杂。栅极电压总是一伏半或者两伏，屏极电压是一百或二百伏，直流的。

因此，修理个收音机，对我来说，不是难事儿，我明白收音机里头有些什么名堂，看出某个东西不转了，然后修修它。

有时候得费些周折。我记得那一次很特别，费了一个下午，才找到一个不显眼的电阻，烧坏了。这特别的一次，碰巧发生在我妈妈的一个

朋友那儿，所以我有时间——没人在我背后说：“你在捣鼓什么啊？”她们却说：“喝点牛奶吧，要不吃点点心？”我终于把它修好了，因为我有韧劲儿，现在仍然有。一旦我遇到个难题，我是不会善罢甘休的。如果我妈妈的朋友说：“别管它，太费劲了。”我反倒来了劲，因为我想解决这该死的东西，既然我已经费了这么大的劲。在我已经发现了它的许多问题之后，我不可能半途而废。我必须最终找到它究竟出了什么毛病。

那是一种解决难题的冲动。我想破译玛雅人的象形文字，想打开保险柜，就是这个原因。我记得那是在中学，在上第一节课的时候，有个家伙拿着一个几何难题，或者他的高等数学作业里的什么玩意儿凑过来。我不把这个该死的东西弄出来，我是不会作罢的——这要花费我15～20分钟。但是在一天当中，另外一些家伙拿着同样的问题来找我，那我一眨眼就给他做好了。因此，一个家伙花费了我20分钟，而另外五个家伙认为我是个超级天才。

因此，我得了一个虚名。在上中学的时候，人能知道的每一个难题，都一定会弄到我这儿来。人所发明的每一个该死的、疯狂的难题，我都知道。因此，在麻省理工学院，有一次在舞会上，一个高年级的学生和他的女朋友在那儿，她知道许多难题，他告诉她，我对这些东西拿手。

因此，在舞会上她过来对我说，“大家都说你是个聪明的家伙，那好了，这里为你准备了个题目：‘一个人要劈八堆木柴……’”

我说，“隔一堆，劈一堆，把每块木头劈作三块”，因为我早就听说过这个。

她就走了，可又带来另外一个，这个我也知道。

就这么折腾了好一阵子，最后，舞会也快结束了，她又来了，她这

次好像要真的难住我，她说，“母女两个到欧洲旅行……”

“女儿得了黑死病。”

她瘫在那儿了！要回答这个难题，好不容易才能得到足够的线索：那是个好长的故事，说的是妈妈和女儿停下来住在一家旅馆里，各自住在两个房间里，第二天妈妈到了女儿的房间，连人影儿也没有，或者在那儿的是别人，于是她说，“我女儿哪儿去了？”旅馆老板说，“什么女儿啊？”管顾客登记的那儿，只有妈妈的名字，如此等等，如此等等，发生了什么事情，是个大谜。答案是，女儿得了黑死病，旅馆呢，不想因此关门，把这个女儿的尸体弄走了，把房间收拾干净了，把她住在这里的一切证据都销毁了。那是个很长的故事，但我听过，因此，当那个女孩儿开始说“母女两个到欧洲旅行”的时候，我知道我以前听过的一个故事就是这么开头的，于是我做了一个快速的猜测，而我也猜对了。

我们在中学的时候，有代数小组这么一种东西，由五个孩子组成，我们作为一个团队，旅行到不同的学校去进行比赛。我们坐在一排椅子上，另一个队坐在另一排椅子上。一个老师，主持比赛的，拿出个信封，信封上写着“45秒”。她把信封撕开，把问题写在黑板上，说：“开始！”——因此，你实际上拥有的时间超过了45秒，因为她在写的时候，你是可以思考的。这游戏是这样的：你有一张纸，你在这纸上写什么都行，你拿这纸做什么都行。唯一作数的，是答案。如果答案是“六本书”，你写的必须是“6”，并且在这数码上画一个大圈儿。如果圈儿里的东西是对的，你赢了；不对的话，你输了。

有一件事儿是肯定的：用常规的那种直肠子的办法来解决问题，实际上是不可能的，比方说：“A是红色书的数目，B是蓝色书的数目”，你磨啊、磨啊、磨啊，最后算出来了，是“六本书”。那需要50秒，因为为这种题目规定时间的那帮人，已经把题目搞成了窍门题。因此，你一定要想：“是不是有什么办法能看出门道？”有时，你一闪念就看到了，

有时你必须发明别的招数来对付，那样才能以你最快的速度来做代数题。那是一种很好玩的练习，我做得越来越好，我最后成了这个队的头儿。因此我学会了很快地做代数，到我上大学的时候，这一招很有用处。我们遇到一个微积分问题的时候，看得明白怎么计算，并且迅速地做代数，那就会很快。

我在上中学干的另外一件事儿，是发明问题和定理。我的意思是，如果我做无论什么数学的东西，我都会找到一些实际例子来说明它有什么用处。我发明了一套直角三角形的问题。但是，我不是告诉你三角形的两条边的长度，让你求第三条边的长度，我却给出那两条边的差。一个典型的例子是这样：有一个旗杆，一根绳子从杆顶上垂下来。当你把绳子拽紧在旗杆根儿的时候，它比旗杆长出1米；而当你把绳子向外斜拉的时候，它离旗杆根儿有1.5米远。旗杆有多高？

我搞出了一些解决这类问题的方程式，结果我注意到了一些关系——也许它是$\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$——那使我想起了三角学。在那之前的几年，当时我或许十一二岁，我已经读过一本三角学的书，那是我从图书馆借的，但那本书现在早不知哪儿去了。我能记住的仅仅是，三角学讲的是正弦、余弦之间的关系这类事情。于是，我通过画许多三角来把那些关系搞出来，每一种关系我都自己证明。我还计算了每5度的正弦、余弦和正切，方法是从给定的5度的正弦开始，用我已经琢磨出的倍角公式和半角公式。

几年后，当我们在学校里学习三角学的时候，我当年的笔记还保留着，我发现我的证明和书上的那些不同。有时，我没注意到有简单的解决办法，我就用麻烦的办法拐弯抹角地也能证明出来。另外有些时候，我的方法才是最聪明的——书上的标准证明方法却是复杂得多！因此，有的时候我打败了它们，有的时候它们打败了我。

在我做这些三角题的时候，我不喜欢表示正弦、余弦、正切等的那

些符号。在我看来，“sinf”看起来像是s乘以i乘以n乘以f！因此我发明了另外一个符号，像平方根的符号，是一个带着一只伸出来的胳膊的西格码（∑），我把f放在胳膊下面。正切是一个希腊字母τ，但τ上面那一横伸长了；为了表示余弦，我制造了一个和Γ类似的符号，但它有点儿像平方根符号。

反正弦是同样的西格码，但是口儿朝左，因此它是从横画开始写起的，值写在它的下边，然后就是西格码。那就是反正弦，sin^{-1}反而不像——这玩意儿简直是发疯嘛！大家却把这个写在书里！在我看来，sin^{-1}意思是1/sine，是sine的倒数。因此我的符号比较好些。

我不喜欢f（x）——在我看来，这玩意儿像是f乘以x。我也不喜欢dy/dx——你真的好想把两个d约掉——于是我制造了一个不同的符号，有点像&。至于对数，我的符号是L向右撇得很厉害，把一个东西写在那里头，就表示这个东西的对数，如此等等。

比起惯常的那些符号，我认为我的符号就是好，即使不更好——用什么符号，那是无所谓的——但我后来发现，那是有所谓的。有一次，我在学校里向另外一个孩子解释一个什么东西，连想也没想，就用开了我自己的符号，他说，“这都是些什么鬼东西？”我这才意识到，如果我要跟别人谈事情，我一定要用标准符号，因此我最后还是放弃了我自己的符号。

我还为打字机发明了一套符号，就跟Fortran计算机语言似的，那样我就能打方程式了。我也修打字机，用别针和橡皮圈来修（那种橡皮圈不像洛杉矶这里的橡皮圈那么容易断），但我不是个专业的修理工；我只是修修，让它们能用。但是，找到毛病在哪儿，还有琢磨出你该怎么修它，这整个的问题——对我而言，真是有趣，就跟难题一样有趣。

菜豆

那年，我在我姑妈开的旅馆干活儿的时候，一定有十七八岁。我不知道我能赚多少钱——我想是每月22美元吧——我交替着一天工作十一小时，第二天工作十三小时，站柜台，或者在餐厅端盘子洗碗。下午，你站柜台的时候，还得给那个迪什么夫人送牛奶，一个病病殃殃的女人，从来不给小费。世上的事儿就这样：你没白没黑地干，却什么也得不到，天天如此。

这个旅馆在旅游胜地，紧挨着海滩，就在纽约郊外。男人们到城里去干活，把一帮老婆留在那儿打牌，因此你得把桥牌桌摆好。然后，到了晚上，男人们打扑克，你得把桌子给他们预备好了——倒烟灰缸什么的。我总是熬到深夜，两点钟的样子，因此，实际上我确确实实是一天干十三或者十一小时。

有些事情，我不喜欢，比方说小费。我觉得应该多开点钱给我们，那就不必要小费了。可是，当我给老板娘提了这么个建议的时候，除了嘲笑之外，我一无所得。她逢人便说："理查德不想要他的小费，嘻嘻，嘻嘻，嘻嘻；他不想要小费，哈哈，哈哈，哈哈。"这种二百五，满世界都是，连我的话也听不明白。

无论怎么说吧，有段时间，一帮男人，从城里干活回来，一来就要冰块儿，好放在喝的东西里面。跟我一块儿干活的那家伙，原来确实一直是个站柜台的。他比我大，也比我内行得多。有次他对我说："听着，我们总给安嘎那家伙送冰块，而他向来是一毛不拔——连一毛钱也不给。下次，他要冰的时候，别理他。他呢，就会叫你过去给他上冰块，在他叫你过去的时候，你就说，'哦，抱歉，瞧我这记性。人人都有忘事儿的时候。'"

我就如法行事，安嘎给了我一毛五！可是，现在，回想此事，我才意识到，站柜台的那主儿，就是内行的那个，确实会来事儿——让别人去冒险找不自在。他派了个活儿给我，就是去训练那家伙给小费。他自己可一声不吭；他倒让我去做！

我必得像个打杂的那样收拾餐厅里的桌子。你把从桌子上撤下来的那些东西，都摞在边上的一个大托盘里，摞得足够高的时候，就端到厨房里去。这样你再拿一个新托盘回来，对吧？你应该分两步来干这事儿——把原先那个托盘端走，再拿一个新的回来——但是，我琢磨着，“我得两步并做一步走。”于是我就想把新托盘垫在下边，同时把原先那个托盘抽出来，可是它滑到一边了——咣当！盘子碗儿奔地板那儿去了。接着，自然而然，问题来了，“你捣鼓个啥啊？怎么弄掉的啊？”嗨，我想发明一种新的端托盘的方法，可这事儿怎么解释啊？

甜点中有一种早餐点心，漂漂亮亮地放在小垫盒上，搁在盘子里。要是你到后边去，你会看到一个人，大家叫他配餐员。他的麻烦，是把东西准备妥当，好用来上甜点。这人以前必定是个矿工什么的——大块头，手指头又短又粗又硬又圆。他端着一叠小垫盒，用某种冲压工艺制造的那种小垫盒，全都扣在一块儿，他得用他那短而粗的手指头把它们掰开，好放在盘子上。我总听他说：“这些个倒霉的垫盒！”在他这么忙活的时候，我记得我心里在想，“多么鲜明的对比——有人守着桌子坐着，享受放在垫盒里可爱的小点心，这位手指头短而粗的配餐员呢，在后面那儿嘟囔‘这些个倒霉的垫盒！’”世界真的是怎么样，和它瞧上去是怎么样，这两者之间，就有这个区别。

我来干配餐这活儿的第一天，配餐的那女的解释说，她通常是做火腿三明治的，为那些上夜班的家伙们做。我说，我喜欢吃甜点，要是晚饭剩下甜点的话，就给我吧。第二天晚上，我上夜班到凌晨两点，伺候那些打扑克的家伙。我这儿坐坐，那儿坐坐，没事儿可干，百无聊赖，

猛然想起有甜点可吃。我就到冰箱那儿，开了门，她在里边放了六份甜点！一块巧克力布丁，一块点心，一些桃片，一些米饭布丁，一些果冻——全了简直！于是我就坐下来，吃这六份甜点——棒极了！

第二天，她对我说：“我给你留了份甜点……”

“妙，”我说，“绝妙！”

“但我给你留了六份，可不知道你最喜欢的是哪个？”

打那以后，她就留六份甜点。每天晚上，我来六份甜点。天天晚上不重样儿，但总是六份。

有一次，还是我站柜台的时候，一个女孩儿去吃饭，把一本书忘在柜台的电话机旁边，我就看这书。那是一本《达·芬奇的一生》，我不可能不看它；那女孩儿就把书借给了我，我把整本书都看了。

我在旅馆后面的一个小房间里睡觉，你离开屋子，得费心把灯关了，可我连这个都记不住。受了达·芬奇那本书的启发，我制造了一个小玩意儿，那是一个由绳子和重锤（可乐瓶子装上水）组成的系统。我一开门，它就运作，拽动开关拉绳把里面的灯拉亮。你开门，这玩意儿就动，把灯弄亮；然后你把门关上，灯就灭。但我真正的成就还在后头呢。

我通常在厨房里切菜。菜豆必得切成一寸长。你干这活儿的方法本来是这样：你把菜豆抓在一只手里，另一只手操刀，你把刀抵着菜豆和大拇指，弄不好就要把大拇指切掉。这切起来很慢的。于是我就在上面用了点儿心思，我想起了个好主意。我在厨房外边的桌子旁边坐下来，把一只碗夹在我膝盖中间，把一把快刀以背对我45度角插在桌子上。然后，我在刀两边各放了一堆菜豆，我拿了一根菜豆，一只手拿一根，然后飞快地往我这边拉，一拉菜豆就切断了，切断的菜豆就滑到夹在我膝

盖中间的碗里。

我就这样一根一根地切菜豆——嚓、嚓、嚓、嚓、嚓——大家都把菜豆给了我，到我快切到第六十根的时候，老板过来了，“你捣鼓什么啊？”

我说：“瞧瞧我这切菜豆的招数！”——说时迟那时快，横在刀刃上的，不是一根菜豆，而是一根指头。血出来了，流到了菜豆上，这下可炸了锅：“瞧瞧，糟蹋了多少菜豆！这么干活儿，傻不傻啊！”杂七杂八的就来了。这样我就不可能进行改进了，而那很容易——弄个护板什么的——可是完了，没什么机会进行技术改造了。

我还有一项发明，困难也是相似的。土豆煮熟了，要切成片儿，好做某种土豆色拉。土豆黏糊糊的，颇难操作。我想到，用一大堆刀，平行地固定在架板上，往下一切，整个土豆就一下子成了片儿。我考虑这事儿考虑了很长时间，最后我想了个主意，我可以把铁丝这样固定在架子上啊。

于是我就到廉价商店打算买些刀或者铁丝，却真真地看到了我想要的那种玩意儿：是用来切鸡蛋的。下次来了土豆的时候，我就拿出了我的切蛋器，一眨眼的工夫就把全部的土豆切完了，然后送给厨子。厨子是个德国人，一个大胖子，厨房里的国王，他暴跳如雷，脖子筋都暴出来了，紫青的：“土豆怎么了啊？”他说：“怎么没切啊！”

我切了，但都粘在一块儿。他说：“你叫我怎么把它弄开？”

“扔到水里。”我提了个建议。

“扔水里？哦、哦、哦、哦哦哦哦呵呵呵呵！”

又有一次，我有了个实在好的主意。当我站柜台的时候，我得接电

话。有人打进来的时候，一个什么玩意儿嗡嗡地叫，总机上一个薄片儿吧嗒垂下来，这样你就知道是哪条线。有时候，就在我帮女人们摆桥牌桌的时候，或者在下午三点来钟（那时电话不多）我坐在前门廊里的时候，突然有了电话，而我离总机还有一段距离。我就不得不跑着过去接，但是你必须从柜台后的走道上才能跑到总机那儿，先往下跑，然后转弯儿，再到柜台后边儿，这多跑了不少路，你这才看到电话是从哪儿打来的——这花了些额外的时间。

于是我想起了个好主意。我在总机上的那些薄片上系了一些线，这些线越过柜台垂下来，然后我在每根线上系上个小纸片。然后我把电话的受话筒向上放在柜台上，这样我从柜台外也够得着。现在，有人打进电话的时候，我一看哪个纸片儿往上走，就知道总机上哪个薄片儿垂下来，我就能及时接电话了，从柜台外接，省了时间。当然，我还是要绕回去接线，但至少我可以先搭句话。我说，“稍等片刻”，然后转过去接线。

我觉得这很完美，但是有一天老板娘过来了，她想接电话，可她琢磨不透——这也太复杂了。“这些个纸片儿，怎么回事儿？电话怎么搁到这边来了？你为什么不……哎哟喂、哎哟喂！”

我想解释——老板娘是我姑妈——想跟她解释这么做很有道理，但是对一个聪明人，一个经营这家旅馆的聪明人，这话说不得！那时我明白了：在现实世界，发明创造，太难了。

谁偷了门

在麻省理工学院，不同的兄弟会都有“抽烟聚会”，在那里他们都想把新生拉过去入伙。在我到麻省理工学院的前一个夏天，有人请我参加“费贝得”兄弟会（Phi Beta Delta），一个犹太人的兄弟会，在纽约开

的一个会。那年头，如果你是个犹太人，或者是在犹太人家里长大的，你就没有机会参加别的兄弟会。别人都不瞧你一鼻子。我没什么瘾头要和犹太人打成一片，“费贝得”兄弟会的家伙们也不在乎我在多大程度上算是犹太人——实际上，我对这种事儿不相信的，宗教我是肯定不信的。无论如何，这个兄弟会的几个家伙问了我几个问题，并且给了我一个小小的建议——说是我必须参加一年级的微积分考试，那样我在将来就不必修这门课了——这到头来证明是个好主意。我喜欢从这个兄弟会来到纽约的这帮子伙计，也喜欢劝说我入伙的那俩家伙，后来我们成了室友。

在麻省理工学院还有一个犹太兄弟会，名叫“西阿缪”（“Sigma Alpha Mu”），他们建议我坐他们的车到波士顿去，我也可以和他们待在一块儿。我答应搭他们的便车，头一晚上，我住在楼上的一个房间里。

第二天早晨，我朝窗外看了看，看到从另一个兄弟会来的那俩家伙（我在纽约遇到的）正往台阶上走。“西阿缪”兄弟会的几个伙计，跑出去跟他们说话，他们展开了一场好厉害的讨论。

我朝窗外喊：“嗨，我想我跟那些家伙是一伙儿的！”接着就跑出这个兄弟会，却没意识到他们都在大张旗鼓，争着拉我入伙。搭人家的便车，我也不怎么领情。

“费贝得”兄弟会在头一年几乎要倒台了，因为有两个不同的派系，把这个兄弟会扯成了两半。一派是社交名流，喜欢跳舞，跳完舞就开车傻转悠以及诸如此类的事儿；另一派，什么也不干，光知道学习，从来不跳舞。

就在我要入伙之前，他们刚开完了一个大会，达成了一个重要的折中方案。他们还是一个战壕的战友，彼此都得照应着。每个人的功课，

都至少要达到几等几等。如果有人落到了后头，老在学习的那些家伙，要给他们当老师，帮他们做作业。另一方面，每个人都得参加舞会，场场不落。要是有个家伙泡不到妞儿，别的家伙得给他弄一个。要是这个家伙不会跳舞，他们得教他怎么跳。一派教另一派怎么思想，而另一派的家伙们要教他们怎么社交。

就我而言，这不错，因为我不怎么会社交。我太怯场了，遇到我必得出去发信却不得不从那帮子带着女朋友的高年级学生中间走过去的时候，我都发麻：我都不知道怎么从他们旁边走过去！即便有个女孩儿说，“哟，他好可爱哦！”那也帮不上我什么忙。

不久就有大二的学生，带着他们的女朋友，以及女朋友的朋友，来教我们跳舞。又过了好长一段时间，有个家伙教我怎么开车。他们教我们这些学习好的人物怎么社交、怎么放松情绪，可真是教得辛苦；我们教他们，也同样辛苦。这样，两方面就扯平了。

“善于社交”，究竟是个什么意思，我还真难理解。这些善于社交的家伙，教我们怎么跟女孩儿相处之后不久，有一天我一个人在一家饭店吃饭，瞧见一个漂亮的服务员。我费了好大劲，鼓足了勇气，才有胆量请她在下次兄弟会的舞会上做我的舞伴，她说敢情好。

回到了兄弟会，大家都在谈下次舞会的舞伴的事，我告诉伙计们，这次不劳各位费心了——我自己找到了一个舞伴。我对自己很是自豪。

等到高年级的发现我的舞伴是个服务员的时候，都目瞪口呆。他们对我说，这个不成；他们会给我找个“合适”的。他们让我觉得自己好像犯了迷糊，出了毛病似的。他们决定接管这局面。他们到了那家饭店，找到了那个服务员，告诉她，出局算了，他们给我找了另一个女孩儿。这么说吧，他们试图教育我这个“任性的儿子”，可我认为他们错了。我当时还是个新生，还不够自信，没能阻止他们毁了我的约会。

到我入伙了之后，他们就有各种各样的路数来糟蹋你了。他们做的一件事儿，是把我们的眼睛蒙起来，在隆冬季节把我们送到乡下好远的地方，把我们放在离一个冰封的湖30米那儿。我们整个儿找不着北了——没人家，啥也没有——可我们应该找到回兄弟会的路。我们有点儿怕，因为我们还小，大家都不怎么说话，除了一个名叫毛里斯·梅耶的家伙：你没办法不让他说笑话，不用双关语，也没办法不让他抱那种随遇而安的态度："哈，哈，有什么大不了的。这不很好玩儿吗！"

大家都对毛里斯动了气。他总是稍稍落在后边，对目前的整个局势大笑不止；其余的人呢，真不知道怎么才能摆脱这种困境。

我们走到了离湖不远的一个十字路口——还是没人家，什么都没有——别人都在讨论我们是否应该走这条路，还是那条路，这时候毛里斯赶上来，说："走这条路。"

"你知道个屁，毛里斯！"大家无可奈何地说。"你总是开这种玩笑，我们为什么应该走这条路？"

"很简单：看看电话线。哪边的电话线多，哪边就是总机。"

这家伙，看起来什么也不往心里去，可这主意够棒的！我们一溜烟地回了城，没走一点冤枉路。

明天即将有一场全校范围的新生对老生的泥巴大战（在稀泥里进行的各种各样的摔跤、拔河）。晚上很晚的时候，一大群大二的学生，有的是我们兄弟会的，有的是从外边来的，到了我们兄弟会——来绑架我们：他们想把我们搞得筋疲力尽，好让他们在明天取胜。

大二的学生们把全体新生捆了个结实，不费吹灰之力——我是例外。我不想让兄弟会看出我是个"娘娘腔"。（我对运动从来不在行。网球跃过球网，在离我很近的地方落地的时候，我总是不知所措，因为我

不能把它打过球网——球通常是奔到离它该去的地方一弧度角的地方。）我琢磨出来了，这是个新境地，一个新世界，我也可以创造一个新名声。因此，为了不显得我不知道怎么打架，我使出浑身解数，跟个王八蛋似的玩命（不知道自己在干什么），三四个人费了不少事，才把我捆住。大二的学生们把我们押到树林深处的一个房子里，用铁扣把我们固定在了木地板上。

我想方设法地逃跑，但有大二的看着呢，我那些谋略一样也不管用。我记得很清楚，有一个家伙，他们没敢绑他，因为他太害怕了：他脸都绿了，浑身筛糠。我后来发现，他从欧洲来——那时是30年代——他没意识到，把这些家伙都固定在地板上，不过是某种玩笑；欧洲那些可怕的事儿，他都知道。这家伙吓得让人不忍心看，他简直吓傻了。

黑夜即将过去，只有三个大二的看着我们二十个新生，但我们不知道这个。大二的学生们开着汽车里出外进好几趟，弄出好些动静，好像有不少活动似的，可我们没注意车总是那几辆车，人总是那几个人。因此，我们没办得了他们。

那天上午，我父母碰巧来看看他们的儿子在波士顿过得怎么样，兄弟会糊弄了他们一阵子，直到我们被松了绑回来。我拼死拼活想逃跑，加上睡眠不足，只落得个满脸憔悴、浑身邋遢。儿子在麻省理工学院是这副尊容，着实让二老惊讶不已！

我脖子也落枕了，我记得那天下午，我歪着脖子在“后备军官训练队”排队等着检查。那位司令官抓住我的脑袋，把它扳正，喝道：“挺直！”

我缩着身子，肩膀歪着：“长官，我做不来！”

“哦，对不起！”他说，有些歉意。

无论怎么说，我战斗了这么长时间，不甘心束手就擒，这个事实为我赢得了了不得的名声，我再也不需要操心被人骂作娘娘腔了——真是如释重负啊。

我经常听我的室友说话——他们俩都是老生——谈他们的理论物理课的事。有一天，他们为一件事情费劲不少，可那件事对我来说再清楚不过，我就说："你们为什么不用巴伦纳莱方程式？"

"那是什么玩意儿？"他们叫起来，"你在说什么啊！"

我跟他们解释我是什么意思，它在这个问题中有什么用，它能解决这个问题。到头来，他们明白了我的意思，是伯努利[3]方程式啊，但我是从百科全书上读到这个东西的，以前跟谁也没讲起，因此我不知道怎么读准那个词儿。

但我的室友很兴奋，从那以后，他们就和我讨论他们的物理学问题——第二年，我也修这门课，进步很快。琢磨高年级的问题，跟他们学怎样发音发得准，这是个受教育的好方法。

我喜欢在星期二晚上到一个叫"雷莫"和"普累莫"的地方——这是相邻的两个舞厅。我兄弟会里的哥们儿不去这种"社会上的"跳舞场所；他们偏爱自己的舞会，在那儿，他们带来的女孩儿属于上流社会，是他们以"得体的"方式遇到的。我在什么时候遇到一个人，她们从哪儿来，背景怎么样，我全不在乎，所以我就去那种舞厅——尽管兄弟会里的哥们儿对此不很赞同（我那时已经三年级了，他们也挡不住我）——而我玩得很高兴。

有一次，我和一个女孩儿跳了好几个舞，却没跟她说太多的话。最后，她对我说："你虎跳灰常好。"

我听不大懂她说什么——她说话有障碍——但我以为她是说，"你

舞跳得非常好”。

“承蒙夸奖，”我说，“谢谢。”

我们走到一个桌子那儿，她的一个女友以及和这个女友跳舞的男孩儿在那儿，我们就坐下来，四个人都坐一块儿。这两个女孩儿，一个重听，另一个几乎是聋的。

这两个女孩儿谈话的时候，前前后后飞快地做出好多手势，也咕哝一点什么声音。这没使我闹心，跟我跳舞的这个女孩儿，舞跳得好，人也好。

跳了几支舞，我们又坐在桌子那儿，又来了好多的手势，一前一后，一前一后，一前一后的，直到最后，她对我说了点儿什么，我也能猜出她什么意思，她是说，她希望我们俩带她们俩到某家旅馆去。

我就问另一个家伙愿不愿意去。

“她俩要咱俩到那家旅馆去干吗啊？”

“见了鬼了，我怎么知道。我和她谈得也不多啊！”

但我也不必知道得很清楚。不就是玩儿嘛，骑着毛驴看唱本儿，走着瞧啊；一场冒险哦！

另外那家伙心里发怵，他说他不去。我就把俩女孩儿弄上出租车奔了旅馆，却发现那里有一场聋哑人组织的舞会，信不信由你。他们都属于一个俱乐部。结果我发现，他们有许多人能根据感觉到的节奏跟着音乐跳舞，在每支曲子结束的时候，还向乐队鼓掌呢。

这可太、太有意思了！我觉得自己好像在异国他乡，不会说那儿的话：我能说话，但没有人听得见我说什么。每一个人都跟其他人用手势

说话，而我什么也明白不了！我让我的那个女孩儿教我几个手势，我也学会了好几个，就跟你学外语似的，仅仅是为了好玩儿。

大家都兴高采烈，互相之间，也很放松，不停地开玩笑啊，笑啊；他们随心所欲地这样那样交流，不显得有什么真正的困难。这和任何其他语言是一样的，只有一件事是例外：在他们互相做手势的时候，头总是一会儿转到这边，一会儿转到那边。我明白了那是怎么回事儿。当有人想在边上插话，或者想打断你的话头的时候，他不能嚷："嗨，杰克！"他只能做一个手势，备不住你看不到这个手势，除非你习惯于一直眼观六路。

他们互相之间，都非常自在。不自在，却成了我的问题。这是一次很好玩儿的经历。

舞会持续了好长时间。舞会一结束，我们就到了一家饭店。他们要什么，都拿手指头指那东西。我记得有人用手势问："你—从—哪儿—来？"我那位女孩儿就拼出了"纽—约"。我仍然记得一个家伙跟我打手势"你很有风度啊！"——他跷起大拇指，又触动一下一个在想象中的西服翻领儿，这表示"风度"。他们可真有一套。

大家都围坐着，开玩笑，我不知不觉地就跟他们打成一片。我想买一瓶牛奶，于是我就到柜台那儿，用口形说"牛奶"，但不出什么声音。

这家伙不明白。

我就弄了个关于"牛奶"的象征姿态，握着两个拳头动来动去，看那架势，好像我在挤母牛的奶似的，而他仍然不知道我搞什么名堂。

最后，旁边一个不认识的人要了牛奶，我就拿手指那牛奶。

"啊！牛奶呀！"他说，我点头，意思是，是啊。

他递给我一瓶牛奶，我说：“非常感谢！”

“你个王八蛋！”他说着，笑了。

我在麻省理工学院的时候，常常喜欢跟人家恶作剧。有一次，在机械制图课上，有个喜欢逗乐的家伙，拿起个曲线板（一个塑料板儿，好用来画平滑的曲线，样子挺古怪的一个玩意儿），说：“我闹不明白，这玩意儿上的曲线，是不是有特别的方程式？”

我想了一会儿，说：“当然有啊。那些曲线是非常特别的曲线。让俺弄给你看。”我就把我的曲线板拿起来，开始慢慢转动。“曲线板之所以造成这个样子，是因为每一条曲线的最低点，无论你怎么转，它的切线总是水平的。”

全班的家伙们都以不同的角度，把他们的曲线板举起来，拿着铅笔跟曲线板的最低点凑合在一块儿，然后比画着，他们发现，可不是嘛，切线就是水平的啊。他们都为这个“发现”欢呼雀跃——尽管他们学了不少微积分，也已经“了解”到任何曲线的最小值（最低点）的斜率（切线）都是零（水平的）。他们不是根据事实推理。他们甚至不知道他们“知道”的东西。

我不明白大家是怎么了：他们不是通过理解事情来学习：他们凭别的什么方式来学习——凭生搬硬套，或者别的什么名堂。他们的知识如此脆弱不堪！

四年后，我在普林斯顿大学，又把这个恶作剧如法炮制了一遍。当时我在跟一个挺老练的人物拉话儿，他是爱因斯坦的助手，确实一直在忙活关于引力的事情。我给他出了个难题：你坐在火箭里，给崩上了天，火箭里有个钟，地上也有个钟。我的意思是：地上的那个钟报告过去了一小时的时候，你必须回到地面。现在，你所希望的是，当你回到

地球的时候，你火箭上的那个钟，一定要尽可能地比地上的那个快。照爱因斯坦的说法，你跑得越远，你的钟就越快，因为一个在引力场中的东西走得越远，它的钟就走得越快。但是，如果你企图飞得过分远，因为你只有一小时的时间，那你不得不非常快地到那么远的地方，速度快到把你的钟都减慢了。问题是：你究竟采取什么速度和远近，才能使你钟上的时间过得最少？

爱因斯坦的这位助手，忙活了好一阵子，才意识到答案就是一般的运动。如果你以惯常的方式把一个东西抛上了天，要它上去和下来所需要的时间是一小时，那么这就是正确的运动方式了。这就是爱因斯坦引力的根本原理——那就是说，被称作“本位时间”的玩意儿，对于那条实际的曲线而言，是处在最大值上的。可是，当我把这个说给他听，用一个带着钟的火箭的方式说给他听，他却没明白我说的是什么。这和在机械制图课上的那些家伙的情况差不多，但这次可不是一些木头脑瓜子的大一新生啊。所以说，这种脆弱的情况，事实上，很是普遍，甚至比较有学问的人，也是如此。

无论我是新生还是老生，我通常在波士顿的一家饭店里吃饭。我自己去那儿，常常连续几个晚上都去那儿。大家对我也熟悉了，给我上菜的服务员总是同一个人。

我注意到她们总是急匆匆的，忙得团团转，因此，有一天，仅仅是为了好玩儿，我把小费（通常是一毛，那年头通常就是这个数儿），两个五分硬币，分别放在两个玻璃杯子的里头：我把两个杯子都装满了水，满满的，把硬币扔进去，然后盖上一张扑克牌，反过来，底儿朝上，放在桌子上。然后我抽掉扑克牌（水漏不出来，因为空气进不去——杯子边儿紧扣在桌面上，所以才这样）。

我之所以把小费放在两只杯子底下，是因为我知道她们总是急匆匆的。如果小费是一枚一毛硬币，扣在一只杯子下面，那么女服务员急着

为后来的顾客收拾桌子，就会拿起杯子，水流了出来，事儿也就完了。可是，在她把第一只杯子弄得洪水泛滥之后，她究竟会怎么对付第二只杯子？她现在可就没有坚强的神经，来把第二只杯子拿起来了！

我出门的时候，对我的女服务员说："苏，当心点儿。你给我的那两只杯子，有点儿好玩儿——水都装得满满的，杯子底儿却敞开着！"

第二天我回来了，上菜的是一个新服务员。通常为我服务的那个，对我不理不睬。"苏生你的气了，"我的新服务员说，"她把第一个杯子揭开后，水流得到处都是，她把老板喊了出来。他们研究了一阵子，可他们不能花一天的工夫琢磨这个啊，所以他们最后把另一只杯子也拿起来了，水又流出来了。他们都跟你急眼了。"

我笑。

她说："有什么好笑的！要是别人跟你也来这一套，你什么感觉——你怎么办？"

"我会去找个汤碗来，然后小心翼翼地把杯子滑到桌子边儿上，把水放在汤碗里——水不必往地板上流嘛。这样呢，我就把硬币取出来了。"

"哈，这主意不赖。"

那天晚上，我把小费扣在了一只咖啡杯子下边，杯子底儿朝天，扣在桌子上。

第二天晚上我来了，为我服务的，还是新来的那位。

"上次，你把咖啡杯子倒扣着，什么意思啊，你？"

"那个，我琢磨着，尽管你活儿忙，你还是不得不到厨房去拿个汤

碗；然后呢，你就不得不慢慢儿慢慢儿、小心翼翼地把杯子滑到桌边儿……”

“可不就那么办的嘛，”她发开牢骚了，“可里头没水啊！”

我捣蛋的杰作，是在兄弟会里搞的。有天早晨，我醒得很早，约摸五点来钟，睡不着了，于是我就从寝室溜下楼，发现绳子上挂着一些告示，说的是“门！门！谁偷了门？”之类。我看到某人把门从合叶上摘走了，在门原来的地方，挂着个标牌，上面写着，“请把门关上！”这个标牌本来是挂在那个不翼而飞的门上的。

我立刻琢磨出了个主意。在那个房间里，有个叫彼得·伯内斯的，还有另外两个家伙，都非常用功，总希望静悄悄的。如果你溜达到他们屋子找个什么玩意儿，或者问他们怎么解决什么什么问题，当你告辞的时候，你总听见这几个家伙尖叫，“请把门关上！”

毫无疑问，某人烦了他们这一套，把门给弄走了。这屋子碰巧有两道门，于是我有了个主意：我把另一个门从合叶上摘下来，扛到了楼底，把它藏在地下室油桶的后面。然后，我悄悄回到楼上，上了床。

早上晚些时候，我装模作样地好像才起床似的，稍晚下了楼。别的家伙都在到处乱转悠，彼得和他的俩朋友都气坏了：他们的两道门都没了踪影，他们得为这个研究研究了，叽叽咕咕，叽叽咕咕。我正下楼梯呢，他们说：“费曼！你把那两个门拿走了？”

“啊，是啊！”我说，“是我拿了那个门。瞧，我手指节都擦破了，我把那门搬到地下室的时候，手蹭在墙上，都蹭破了。”

他们对我的回答不满意；事实上，他们不相信我。

拿走了第一个门的那几个家伙，已经留下了许多线索——比方说，

标牌上的字迹——他们很快会被发现。我的主意是：当大家发现是谁偷了第一个门的时候，人人都会认为他们也偷了第二个门。果不出所料：大家给偷了第一个门的那几个家伙一顿老拳，外加折磨、审问。直到最后，吃了不少苦头，费了不少事儿，他们才让那些折磨他们的人相信，他们只偷了一个门，虽然这或许很难让人相信。

我听着这一切，心里偷着乐。

另一个门，失踪整整一个星期，对还想在那屋子里学习的家伙们来说，找到另一个门，这事儿变得越来越重要。

到末了，为了解决这问题，兄弟会会长在晚饭时候说：“关于另外那个门的问题，我们必须解决。我自己解决这问题，怕是无能为力。因此呢，我愿意听听你们各位的高见，把这事儿弄出个头绪，因为彼得和另外两个人要学习啊。”

有人提出了个建议，然后又有一个人提出建议。

稍作沉吟，我站起来，提了个建议。“好吧，”我连讽带刺地说，“无论是谁偷了这门，大家都知道你很厉害。你太聪明了！我们琢磨不出你是谁，因此，你必定是个某种超级天才。你大可不必告诉我们你是何方神圣；我们想知道的，是这门在哪儿啊。所以，如果你在什么地方留下个条子，告诉大家那门在哪儿，大家就承认你是爷，永远承认你是一个超级神人，你可太聪明，你能把那另一个门弄走，可大家琢磨不出来你是哪位。但给老天爷一点面子吧，在什么地方留个条子吧，我们将为此永远感激你。”

下一个家伙也提了一个他的建议。“我倒有另外一个主意，”他说，“鄙人以为，你，作为会长，应该要求每一个人，以本兄弟会的诚实誓言为重，问问各位，他偷还是没偷那个门。”

会长说：“这主意非常好。以本兄弟会的诚实誓言为重！”于是他就围着桌子走，逐个地问每个家伙：“杰克，你拿了那门吗？”

“没有，先生，我没拿那门。”

“迪姆，你拿了那门吗？”

“没有，先生，我没拿那门！”

“毛里斯，你拿了那门吗？”

“没有，我没拿那门，先生。”

“费曼，你拿了那门吗？”

“是啊，我拿了那门。”

“你省省，费曼；这不是开玩笑！山姆！你拿了那门吗……”——这么问了一圈儿。大家都震惊了。这兄弟会里，必定有一只真正的老鼠，他不尊重本兄弟会的诚实誓言！

那天晚上，我留下了一个纸条儿，上面画了一幅小画儿，画的是那个油桶，紧挨着油桶的是那个门，第二天他们找到了那个门，把它又安了上去。

一段时间以后，我终于承认拿了那另一个门，我受到了大家的指责，说我撒谎。他们记不起我曾经说过什么话。他们能够记得的全部事情，是会长在围着桌子走了一圈儿问过每个人之后所下的那个结论，没人承认拿走了那门。这个结论，他们记得；当时我说了什么，他们记不得。

大家经常认为我弄虚作假，但我通常是诚实的，某种方式的诚实

——这么一种方式的诚实，竟然常常没人相信！

拉丁语还是意大利语？

布鲁克林有家意大利语电台，我还是小孩子的时候，总听它。我喜欢它那抑扬起伏的声音扑面而来，我宛如在大海边，波浪不太大。我通常坐在那儿，一任海水向我涌来，把自己沉浸在漂亮的意大利语中。在这些意大利语节目中，总有某种家庭场景，妈妈和爸爸之间发生了讨论或者吵架：

尖尖的声音说："尼奥特卡提叶托卡皮托图土……"

洪亮而低沉的声音说："布饶托恩尼帕拉图土！"（伴随着用手击打出来的声音。）

太棒了！因此我学会了做作各种感情：我可以哭，我可以笑；诸如此类。意大利语是一种怪可爱的语言。

在纽约，有不少意大利人住在我们附近。每当我骑自行车的时候，有的意大利卡车司机就把脑袋探出驾驶室，手还比画着，叫着类似这么一种声音："米啊如查拉姆皮伊塔提车！"

我觉得自己像个傻瓜。他对我说什么啊？我怎么回敬他？

于是我就问我学校里的一个意大利朋友，他说："你就说，'啊提！啊提！'——意思是'你才是呢！你才是呢！'"

我觉得这主意不赖。我可以说"啊提！啊提！"给他顶回去——当然，也得拿手比画着。于是我就获得了自信，而且我还培养了另外一些本事。要是骑车出去，某个开车的女的挡了我的道，我就说："普齐呀

啊拉玛罗车！”——看她不蔫儿！有个意大利坏小子，骂她如此之凶！

别人想听出我说的是假冒的意大利语，不那么容易。有一次，那时我在普林斯顿大学，我骑着自行车去帕尔默实验室的停车场，有人挡了路。我的习惯总是这样：我向那家伙比画，“噢瑞则卡帮卡米车！”用一只手的手背，猛击另一只手。

在一大块草坪的另一边，一个意大利园丁正忙着栽什么植物。他停下手里的活儿，挥着手，兴高采烈地喊：“瑞咋玛里亚！”

我向他喊：“让提巴尔塔！”也向他打招呼。他不知道我不知道意大利语，我不知道他说的是什么，他也不知道我说的是什么。但没关系！简直绝了！这招儿管用！他们听到那种语调的时候，毕竟立刻就听得出来那是意大利语——或许是米兰方言吧，不是罗马方言，管它是什么方言。可他是个意大利人！所以这就很好玩儿。但你必须绝对自信。你自顾自地说下去就成，不会出什么破绽。

有一次我放假回家，我妹妹有几分不高兴，几乎要哭了：她们女童子军要举行父女宴会，但爸爸出门在外卖制服，在路上呢。于是我说，我带她去，以哥哥的身份（我比她大9岁，所以这也不算脑袋发热）。

我们到那儿的时候，我在那些爸爸们中间坐了一会儿，但很快就烦了他们。全部的爸爸都是带着女儿来参加这个可爱的小小宴会的，但他们都在讨论股票的事儿——他们不知道怎么和自己的孩子说话，更不知道怎么和孩子的朋友们说话。

在宴会过程中，小姑娘们为我们表演了一些小剧儿，还背诵诗歌，等等。突然，她们拿出了个样子古怪、有点儿像围裙的东西，上面有个窟窿可以套在头上。小姑娘们宣布，现在得由爸爸们为她们表演节目。

这么说，每个父亲都必须站起来，把头套在那个围裙里，说点儿什

么——有个家伙背诵《玛丽有一只小羊》——他们都不知道表演什么才好。我也不知道做什么好，但等到我站在那儿，我告诉她们，我要背诵一首小诗；抱歉的是，那不是英语诗，但不管怎么样，我保证她们会喜欢的。

啊，图佐兰托

——颇伊齐·迪·帕热

弹托　萨卡　图尔那提，那　普塔　于西　普提　提拉

如恩托　卡塔　产托　产塔　满托　尺　拉　提　大

牙塔　卡热　苏尔达　米　拉　查塔　皮查　皮诺　提诺　布啊尔达

皮　特　尺　那　那那　春大　拉拉　亲大　拉拉　春大！

让托　皮提　卡拉，啊　弹诺　亲托　昆塔　拉尔达

啊，拉　提　恩塔　大拉　拉尔塔，因塔　普茶　拉拉　塔尔塔！

我就这么朗诵了三四段，运用我从意大利语电台那里听来的所有感情，把孩子们搞得莫名其妙，她们乐得前仰后合，哈哈大笑。

宴会结束后，女童子军团长和学校的一个老师走过来，告诉我说，她们一直在讨论我的诗。她们有一位认为那是意大利语，另外一位认定那是拉丁语。那位老师问：“谁说得对啊？”

我说：“你们一定得去问问小姑娘们——她们立刻就知道那是什么语言。”

总想逃避

我在麻省理工学院当学生的时候，只对科学感兴趣；别的事情，我全不擅长。但学院有个规矩：你必须得修一些人文课程，以便得到更多的“教养”。除了英语课之外，还有两门选修课，于是我就浏览选课表，立刻发现了天文学——这竟然是人文课啊！因此，那年我选了天文学，算是逃过一难。第二年，我再往那张选课表下边瞧，在法国文学这样的课的后边，我发现了哲学。那是我能找到的最接近科学的课。

在我告诉哲学课上发生了什么事情之前，让我告诉你一些英语课上的事儿。我们不得不写好几篇作文。比方说，穆勒写过关于自由的什么玩意儿，我们呢，必须批评他。但我不是像穆勒[4]那样论述政治自由，我却写在社交场合中的自由——为了显得礼貌不得不装模作样和撒谎这个问题，以及在社交场合总是做这种装模作样的游戏，将导致“社会道德意志力的崩溃”这问题。这是个很有趣的问题，但这不是布置给我们的题目。

另一篇我们必须批评的文章，是赫胥黎[5]的《论一截粉笔》，他在这篇文章中，讲的是他拿着的那截粉笔，是动物骨头的遗留物，地球内部的力量把它往上推，所以它才成了白崖的一部分，然后呢，它被采挖出来，如今被用来在黑板上写写画画，传达思想观念。

还是那样，我不按照教授布置的那样去批评这篇文章，却写了一篇滑稽的模仿之作《论一粒尘土》，说的是一粒尘土是怎么弄成了多彩的落日，怎么有助于雨滴的凝结，诸如此类。我总是造假货，总是想逃避。

但是，到了我们不得不写一篇关于歌德的《浮士德》的作文的时候，我就无计可施了！这作品太长了，模仿不得，没办法挂羊头卖狗肉

了。我在兄弟会里反复吼叫："我做不了。我不想写了。俺不弄了！"

我兄弟会里的一哥们儿说："行了，费曼，那你别做得了。可教授会以为你不写，是因为你懒得做这作业。你怎么着也得写个什么玩意儿——还不能少于规定的字数——交上去的时候，夹张纸条儿，说你就是理解不了《浮士德》，你对它还不开窍，要写点儿评论它的东西，不大可能。"

我就这么办了。我写了一篇很长的作文，《论理性的限度》。我一直都在思考解决问题的科学技术，怎么会有某种限度：道德价值问题，不能由科学方法来决定，呜啦哇啦、呜啦哇啦，一通胡诌。

然后，兄弟会的另一哥们儿，又出了个主意。"费曼，"他说，"交上一篇作文，却跟《浮士德》风马牛不相及，交不了差的呀。你必得做的事情，是把你写的那什么玩意儿，搞进《浮士德》里去。"

"滑稽！"我说。

但兄弟会的其他家伙们，以为这是个好主意。

"好吧，好吧！"我硬着头皮说，"我试试还不成吗？"

于是，我在我已经写了的那些东西上，又加了半页，说是墨菲斯托菲里斯[6]代表理性，浮士德代表精神，歌德试图表明理性的限度。我一阵折腾，把折腾出来的玩意儿，都勉强塞进了作文里。

教授让我们一个一个单独进去和他讨论作文。我进去了，做好了最坏的心理准备。

他说："导言部分的材料，不错；但《浮士德》的材料，有点儿过于简单了。否则，还是很好的——B+。"又逃过一难！

现在说哲学课。这课是一个老胡子教授讲的，名叫鲁宾逊，他老是嘟嘟囔囔地说话。我去听课，他也那么嘟嘟囔囔，而我什么也听不明白。班里别的人似乎更明白一点儿，可他们似乎精神不集中。我碰巧有一把小锥子，大约1.5毫米的那种，就拿它来在课堂上打发时间，在两个手指头之间，在鞋底上钻窟窿，一星期一星期这么混。

最后，有一天，接近下课的时候，鲁宾逊教授“咿哩哇啦、咿哩哇啦、咿哩哇啦、咿哩哇啦”——大家都兴奋起来！他们都互相交谈、讨论，因此我猜他说出了什么有趣儿的话，谢天谢地！可他说了什么啊？

我问了一个人，他们说：“我们得写一篇文章，四个星期后交差。”

“写什么？”

“写一年来他讲过的那些东西。”

我傻了眼。整个学期，我记得，我听到的唯一的东西，是有那么一次，教授一下子来了兴致，“咿哩哇啦咿哩哇啦意识流咿哩哇啦咿哩哇啦，哇啦”，哎哟喂！——然后又是乱七八糟的。

这个“意识流”，让我记起了若干年前我爸爸交给我的一个问题。他说，“假定一些火星人将要光临地球，而火星人从来不睡觉，他们一刻不停地动弹。假定他们没有我们这种名为睡觉的怪异现象，于是他们就问你这个问题：‘入睡是什么感觉？当你入睡的时候，发生了什么事儿？你的思想是突然停止了呢，还是逐渐逐渐逐渐不啊不不啊不那么迅迅迅迅速？这个心灵到底是怎么关了开关的？”

我觉得有意思哦。现在，我必须回答这么一个问题：当你入睡的时候，意识流是怎么停止的？

就这样，在接下来的四个星期的每个下午，我都得写我的作文。我

把我屋子里的遮阳帘拉下来，把灯也关了，睡觉。我倒要看看，当我入睡的时候，发生了什么。

在晚上，又睡，因此每天我有两次观察的机会——很不错！

起初，我注意到了许多和入睡无关的鸡毛蒜皮的事情。比方说，有一次，通过在内心里对自己说话，我思考了不少。我还能想象我看到了许多东西。

然后呢，我逐渐累了，我注意到我能同时想两个事儿。我是在这个时候发现这个的：我在内心里对自己谈论着什么事儿，而我同时也在做那件事儿，我漫不经心地想象到了两根绳子，分别系在我的床头和床尾上，绳子卷在一个转动的辘轳上，慢慢地把我的床往上升。直到我担心一根绳子别和另一根绞在一块儿，那样就卷不利索了的时候，我才意识到那两根绳子原来是我想象的。但是，我说，在内心里，"哦，绳子上的张力自然不会让它们绞在一块儿的"，可这干扰了我正在进行的第一个思想，并使我意识到，我正在同时想着两个事儿。

我还注意到，当你入睡的时候，思想观念还在继续，但它们之间的联系，变得越来越不讲逻辑。你没注意到它们之间的联系越来越不讲逻辑，直到你问你自己："我怎么鬼使神差地想到了这个啊？"然后，你试图回头考察一番，可你常常记不得到底是什么玩意儿使你想到那个！

就这样，你得到了逻辑关系的每一种幻觉，但真正的事实是：那些思想变得越来越醉眼蒙胧，到最后它们完全分崩离析，再往后，你已然沉沉睡去。

一直睡了四个星期的觉之后，我开始写我的作文，解释我得到的观察结果。在文章的结尾部分，我指出，所有这些观察，都是正在观察我自己入睡的时候得到的，我并不真的知道入睡究竟是怎样的，我睡了的

时候，我没在观察我自己啊。我以我自己拼凑的一首小诗来表达这篇文章的结论，它指出内省有多么难：

我纳闷为什么。我纳闷为什么。

我纳闷我为什么纳闷。

我纳闷为什么我纳闷为什么

我纳闷为什么我纳闷！

大家都交了作业，下次大家上课又都凑一块儿了，教授读了其中的一篇：“嗯啊哇啦嗯啊哇啦……”我说不上来这家伙写的什么。

他又读了另外一篇：“咿哩哇啦嗯啊哇啦哇啦……”我也不知道这家伙写的什么，可到末了，他念道：

啊哇啦哇。啊哇啦哇。

啊哇啦哇啦哇啦。

我哇啦乌啊哇啦哇

啊哇啦哇啦哇啦。

“啊哈！”我说，“那是我的作文啊！”实话实说，到最后，我才听出那是我的。

文章我是写完了，可我的好奇心还在继续，在我去睡觉的时候，还是坚持观察我自己这种搞法。一天晚上，我正在做梦，我意识到我在梦中正在观察自己呢。我把一切都一股脑儿地弄进了睡眠本身当中！

在这梦的头一部分，我在一列火车顶上，火车正冲向一个隧道——

呜的一声！我对自己说："这么着，你可以体会到害怕的感觉；火车进了隧道，你还能听出声音的变化。"

我还注意到，我能看到颜色。有人说，梦是黑白的，但不是的，我的梦是彩色的。

现在，我在一个车厢里，我感觉到，火车摇摇晃晃。我对自己说："你在梦里可以有肌肉运动知觉。"我费了点事儿，走到了车厢一头，我看到了一扇大窗户，跟商店橱窗似的。窗户后面——不是塑料假人，而是三个活生生的女孩，穿着游泳衣，而且长得都很漂亮！

我继续走到下一个车厢，一边走一边拉着头顶上的吊环，那时我对自己说，"嗨！搞得兴奋起来——性兴奋——会很好玩儿——所以我想，还是回到刚才那个车厢吧。我发现我能转弯儿，沿着火车往回走——我能控制我的梦的方向。我回到了那个窗户特别的车厢，看到三个老家伙在拉小提琴——但他们又变成三个女孩！所以，我能修改我梦的方向，但修改得不完美。

那个，我开始兴奋起来，在性方面，也在智力方面，我说："哇噻！它管用哦！"我就醒了。

我在做梦的时候，还得到了另外一些观察结果。除了老是问我自己："我真的梦到彩色了吗？"我还纳闷："你看到什么东西的时候，看得准不准？"

下一次，我梦见了一个女孩儿，躺在草丛里，她的头发是红色的。我想知道，我能不能看清楚每根头发。你知道，当有阳光照着的时候，只有一小块儿是有颜色的——所谓衍射效应，我能看到那个！我能随便把每根头发看得真真切切：完美的视觉！

另有一次，我梦见一枚图钉按在门框上。我看到了这枚图钉，我的

手指头沿着门框往下滑，接着就触摸到了那图钉。这么说，大脑的“视觉部”和“触摸部”似乎是连在一块儿的。于是我对自己说，这两个部不连在一块儿，是可能的吗？我又看那门框，图钉没了，我的手指头沿着门框往下滑，而我摸到了图钉！

还有一次，我在做梦的时候，听见“砰砰，砰砰”。梦中发生了什么事儿，和这敲门声合拍了——但合得不怎么完美——那声音好像是从外面来的。我想：“我敢绝对保证，这敲门声是从我的梦外边来的，而我设计了梦的这一部分与之相合。我一定得起来，看看究竟是什么事儿。”

敲门声还在继续，我醒了——死寂一片。什么事儿也没有啊。这么说，这敲门声跟外界没关系啊。

别人告诉过我，他们曾经把外边的声音结合到了梦里，但是，当我有了这样的经历的时候，仔细地“从下面观察”，拿得准那声音是从梦外面来的，然而却不是。

在梦中做观察的那段时间里，醒来的过程挺可怕的。正当你开始醒来的时候，有那么一刻，你觉得身体僵硬，跟绑在床上似的，也好像被压在好几层棉絮下面。这很难解释，但有那么一刻，你有一种憋在里边的感觉；你不敢肯定你能不能醒来。你总是能够醒来。在告诉了我自己好多遍之后，我变得越来越不害怕了，而且实际上我发现醒来的过程很是令人振奋——有点儿像坐过山车：过上一些日子，你不那么害怕了，你有点儿喜欢它了。

或许你想知道，这种观察我自己的梦的过程，是怎么停下来的（在这样的过程中，我大多数时间是在观察；这种事情只发生过几次而已）。有一天晚上，我像往常那样做梦，我看到在我面前的墙上，有一面细长的三角形的航海信号旗。我回答25遍了：“是的，我梦见了颜

色。”然后，我意识到自己睡的时候，后脑勺硌在黄铜杆儿上。我把手垫在脑袋下，我感觉到我的后脑勺是软的。我想：“啊哈！那就是我一直能在梦中进行观察的原因啊：那个黄铜杆儿，干扰了我的视觉脑皮层。我要做的，仅仅是枕着黄铜杆儿睡觉即可，那样我就能在任何我想观察的时候做这些观察。”于是，我想，我要停止对这件事的观察，然后进入比较深度的睡眠。

过一阵子，我醒了，没什么黄铜杆儿，我的后脑勺也不是软的。我不知怎么已经厌烦了做这样的观察，而我的大脑，也就发明了一些虚假的理由，告诉我为什么我不应该再观察了。

作为这些观察的结果，我开始弄了一个小小的理论。我喜欢看自己的梦，原因之一是我好奇，好奇的是，当你闭着眼、什么也没进来的时候，你是怎么看到一个形象的，比方说，一个人的形象。你说，那或许是随机的，是无规则的神经放电；但是，你没办法在你睡觉的时候，让你的神经以你醒着看东西时的同一个细腻的模式来放电。那么，我在睡觉的时候，我怎么可能“看到”颜色，而且看得更细致？

我料定，必定有一个“翻译部”。当你真的在看什么东西的时候——看一个人，一盏灯，或者一面墙——你看到的不仅仅是一些色块儿。有个什么东西告诉你那是什么玩意儿；那玩意儿必得经过翻译。在你做梦的时候，这个翻译部仍然在运作呢，但它变得稀里咣当。它告诉你，你正在看一根人类的头发，看得再细致不过，可那时你什么也没看。它把那些进入大脑的东一块儿西一块儿的下脚料，翻译成了一个清晰的形象。

关于梦，还有一件事儿要说。我有个叫达伊弛（Deutsch）的朋友，他媳妇出身于维也纳的一个精神分析世家。有天晚上，讨论梦讨论了好长时间，他说梦是有意义的：梦里有象征，象征可以用精神分析方法得到解释。这些说法，大部分我都不相信，但那天晚上我做了个有趣

的梦：我们在台球桌上用三个球玩游戏——一个白的，一个绿的，一个灰的——这种游戏的名字叫“奶头儿”。怎么把球弄到袋子里去，是有门道的。白球和绿球，很容易弄到袋子里去，但灰球，我就是弄不进去。

我醒了，这梦很容易解释：当然，这游戏的名字泄露了一些秘密：三个球代表三个女孩儿！那个白球，很容易猜出是什么，因为我偷偷地和一个有夫之妇出去，她当时在一家餐厅当出纳，穿一身白色的工作服。那个绿球，也很容易，因为我曾经有两个晚上和一个女孩到汽车电影场去看电影，她穿一身绿裙子。但那个灰球——那个灰球到底是什么玩意儿？我知道，它一定代表某人：我感觉得到。那就像你努力要记起一个名字，这名字就在你舌头尖儿上，可你就是想不起来。

我费了半天工夫，才想起我曾经对一个我非常喜欢的女孩说拜拜了，她在两三个月之前去了意大利。她是个很漂亮的女孩，我拿定主意，等她从意大利回来，我还去看她。我不知道她是不是穿一套灰套装，但我一想到她，事情就再清楚不过了，她就是那个灰的球。

我回到我朋友达伊弛那儿，我告诉他，他的看法一定是对的——分析梦，还是有道理可说的。但是，在他听完我这个有趣的梦的时候，他说：“不是这样，这个梦太完美了——太整齐，太一般了。通常你需要进行更深入一些的分析。”

米特普拉斯特公司的首席化学家

我在麻省理工学院完成学业之后，想在暑假找个工作。我向“贝尔实验室”申请了两三次，还亲自去了好几趟。比尔·肖克利[7]，在麻省理工学院的实验室认识我，每次都带我到各处转悠，我每次都喜欢得不得了，但我就是不能在那里得到一份工作。

我的几位教授，为我向两个特别的公司写了推荐信。有一封信是写给“宝石蓝公司”（e Bausch and Lomb Company）的，这家公司使用透镜来追踪光线。另一家公司属于“纽约电器检验实验室”（Electrical Testing Labs in New York）。那年头，甚至没人知道物理学家是干什么的，工业界也没有物理学家的位置。工程师，敢情好；但是，物理学家，没人知道怎么用他们。有意思的是，很快的，在第二次世界大战之后，事儿就刚好反过来了：物理学家，哪儿都用得着。因此，在大萧条那年月，作为一个物理学家，我连个工作都难找。

大约是在那个时候，在我们家乡法洛克维的海滩上，我遇到了我的一个老朋友，我们是从小一块儿长大的。七八岁的时候，我们结伴上学，是很好的朋友。我们都有科学头脑。他有个“实验室”，我也有个“实验室”。我们经常一块儿玩，一块儿讨论事。

我们常常为街道上的孩子搞些魔术表演——化学魔术。我的朋友是个很好的街头艺人，我也是。我们在一张小桌子上玩把戏，桌子两头儿，还一直点着本生灯。把放了碘的两个玻璃皿放在灯上加热。在表演过程中，桌子两头儿，两股漂亮的紫色蒸气冉冉升腾。这很棒！我们变了许多戏法，比方说，“葡萄酒”变水，以及其他一些化学颜色的变化。作为压轴戏，我们用我们自己发现的某种东西来变戏法。我把我的手（秘密地）放在一个水槽里，然后再放在汽油里，然后，我“不小心”扫过一只本生灯，那只手就着火了。我鼓掌，结果两只手都着了。（手是烧不坏的，因为火着得很快，况且手上的水能隔热。）然后，我挥动着双手，一边跑，一边叫：“起火了！起火了！”大家欢呼雀跃，跑出屋子，表演就结束了！

后来，我在大学把这个故事告诉兄弟会的哥们儿的时候，他们说：“胡说八道！你做不到的！”

（为这些伙计展示他们不相信的事情，我常有这种麻烦——就说那

次吧，我们争论尿是不是依靠重力排出体外的。我向他们展示事情不是那样的，我让他们看，你打倒立，也还是能撒尿。或者说另外一次，有个人声称，如果你把阿司匹林和可口可乐一块儿咽下去，你立刻就会昏倒在地，不省人事。我告诉他们，我认为这纯粹是胡扯，自告奋勇把阿司匹林和可口可乐咽下去。然后，他们展开争论，你是应该先吃阿司匹林，后喝可口可乐，或者先喝可口可乐，后吃阿司匹林，或者把阿司匹林混在可口可乐里面。因此，我先后以这三种不同方式，吃了六片阿司匹林，喝了三瓶可口可乐。首先，我吃了两片阿司匹林，喝了一瓶可口可乐；然后，我们把两片阿司匹林溶解在一瓶可口可乐里，我喝了；接着，我喝了一瓶可口可乐，再吃两片阿司匹林。每一次，那些相信这很危险的白痴们，都围着我站着，等着在我晕倒的时候，好扶住我。什么事儿也没有。我倒记得，那天晚上我睡得不好，于是我就起来，做了许多光学玻璃冷加工的活儿，还推导出了几个和所谓黎曼-泽塔函数那玩意儿有关的公式。）

“得，伙计们，”我说，“大家出去找点儿汽油来。”

他们把汽油准备好了，我把手放在水槽里，然后放在汽油里，然后点火……疼得要命！你知道，那时我手背上长出了汗毛，这汗毛就跟灯芯儿似的，起火的时候，把汽油固定在皮肤表面，我在小时候玩儿这一套的时候，我手背上没有汗毛啊。为兄弟会的哥们儿做了这个试验之后，我手背上就一毛不剩了。

哦，对了，我朋友和我在海滩上碰了面，他告诉我，他搞了一种给塑料电镀的处理方法。我说，那不可能，因为没有导电性啊；你把电线系在哪儿啊。但他说，他能给任何东西电镀，我仍然记得他从沙里捡起一个桃核儿，说他也能给这个东西电镀——为了打动我。

他让我在他的小公司干活儿，太妙了。公司在纽约的一座建筑物的顶层。公司里大约只有四个人。搜罗钱的是他爸爸，我想他是公司“总

裁”。朋友是“副总裁”，还有另一个伙计，管推销。我是“首席化学家”，我朋友的兄弟，不大聪明，洗瓶子。我们有六个电镀槽。

他们真能给塑料电镀，过程是这样的：首先，在待镀物上沉淀上银，银来自加了还原剂的硝酸银溶液池（好像制造镜子）；然后，把带着作为导体的银的待镀物，放在电镀槽里，银就得到了电镀。

麻烦是：银能粘在被镀物上吗？

不能。银很容易剥落。因此，这中间有一个步骤，以便让银结结实实粘在待镀物上。这要看镀的是什么材料。像胶木这种东西（那年头，这是一种很重要的塑料），我朋友发现，如果先给它喷沙，然后放在氢氧化亚锡溶液里浸泡若干小时，氢氧化亚锡就会钻到胶木的微孔里，银就会牢牢地附着在胶木的表面上。

但这方法只对几种塑料管用，新型塑料层出不穷，比方说甲基丙烯酸甲酯（现在叫树脂玻璃），开始时是不能直接电镀的。醋酸纤维素，很便宜，是另外一种我们起先不能电镀的东西。最后，我们发现，把它放在氢氧化钠溶液里泡一会儿，然后用氯化亚锡溶液一泡，就能把它镀得相当好。

作为“化学家”，我在公司里颇为成功。我的长项，在于我的伙计对化学一窍不通；他不做什么实验；他只知其然，而不知所以然。我大动干戈，把一大堆门把手放在一些瓶子里，然后在瓶子里加上各种各样的化学物质。什么东西都试，把每种东西都搞明白了，我就发现了许多方法，能镀许许多多种塑料，比他能镀的还多。

我还能简化处理过程。那是从书里看的，我试用了很多种还原剂，从葡萄糖到甲醛都试过了，结果能马上把银百分之百地置换出来，而不需要在事后从溶液里回收剩下的银。

我还通过在水里加一点儿盐酸，把氢氧化亚锡溶解在水里——我记得这是我在大学的化学课上学来的——这样，一个原本需要几小时的步骤，大约5分钟就完成了。

我的那些实验，总受到那位推销员的干扰。他从潜在的客户那里带回一些塑料。我把全部的瓶子都摆好了，上面都贴了标签，突然之间，“别弄实验了，到销售部来做件‘高级的工作’！”就这样，许多实验都得重新做。

有一次，我们遇到了一大堆麻烦。有个艺术家，想为汽车杂志的封面制作照片。他非常小心地用塑料做了一只轮子，不知怎么的，这位推销员告诉他，我们什么都能镀，这艺术家就想要我们把轮轴镀了，那样它就成了一个闪闪发亮的银轴子。车轮是用一种新塑料做的，我们不大知道怎么镀它——事实是这样：这位推销员从来不知道我们能镀什么，因此他总是大包大揽——结果第一次没镀成。于是，我们得把残留的银去掉，把银去掉可不容易。我决定用浓硝酸，一下子就把银去掉了，但也把塑料弄得坑坑洼洼。那会儿，我们可真的处于水深火热之中！实际上，我们做了许多“水深火热”的实验！

公司的另外那些伙计，决定在《现代塑料》杂志上做广告。好几种东西，我们镀得异常漂亮。在广告里看上去特棒。我们还在橱窗里摆了几样东西，指望潜在的客户能瞟上一眼，但没有人能从广告或者橱窗里把东西拿在手里，看看镀层粘得怎么样。事实上，有些东西，可能做得非常棒，但那是特别费心做出来的；别的产品没那么好。

那个夏末，我一离开公司到普林斯顿大学，他们就得到了一大笔订货，有个人想让他们镀塑料钢笔。现在大家都有银色的钢笔，闪闪发光，便于使用，外加便宜。这种钢笔立刻销售一空。看到大家别着这种钢笔满世界乱逛，而你知道这钢笔是哪儿来的，这事儿挺让人兴奋。

但公司对这种材料经验不足——也许是对塑料里的填料经验不足（大多数塑料不是纯的，里头有“填料”。在那年头，加多少填料，没人管你）——这搀和进去的东西会发泡儿。你把个长泡泡的玩意儿拿在手里，它还开始脱皮儿，你就禁不住摆弄它。所以，大家都在摆弄从钢笔上搓下来的小皮皮儿。

现在公司有了修钢笔这种当务之急，我那哥们儿很肯定，他需要一架大显微镜什么的。他不知道怎么找到问题，不知道怎么会有这问题；要做这种假模假式的研究，还得花公司一大笔钱呢。结果他们麻烦大了：问题没解决，公司却给折腾倒了，因为他们出师不利，一开始就吃了败仗。

几年后，我在洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）[8]，那里有个叫弗里德里克·德·哈夫曼（Frederic de Ho man）的，也算是个科学家吧，对经营他很在行。书念得不多，却爱数学，干活儿很卖力气；他靠苦干来补足书念得不多。后来，他成了“通用原子公司”（General Atomics）总裁或者副总裁，从此就成了个企业大腕儿。可人在当初，他不过是个精力非常充沛、闪乎着大眼、满腔热情的小伙子，尽其所能为项目打打帮手而已。

有一天，我们在富勒洛奇（Fuller Lodge）[9]吃饭的时候，他告诉我，在来洛斯阿拉莫斯之前，他一直在英格兰工作。

“你在那儿做什么？”我问。

“我在一家塑料电镀厂工作。我和几个家伙在实验室里。”

“搞得怎么样？”

“相当不错，但我们也有麻烦。”

“哦？”

“正当我们要把厂子做大的时候，纽约的一家公司……”

“纽约的什么公司？”

“叫米特普拉斯特公司。他们比我们抢先了一步。”

“你怎么知道的？”

“他们不停地在《现代塑料》上做整版的广告，把他们能镀的东西，都拿来炫耀。我们意识到，他们比我们走得快。”

“你有他们做的活儿吗？”

“没有，但从广告上看得出来，他们在我们的前头。我们厂不赖，但要和美国那家厂子较量，门儿都没有。”

“你们实验室里有几个弄化学的？”

“有六个弄化学的在干。”

“你觉得米特普拉斯特公司有几个弄化学的？”

“啊！他们一定有个真正的化学系！”

“你能给我说说，米特普拉斯特公司的首席化学家，可能是个什么样子，以及他的实验室是怎么工作的？”

“我猜啊，他们一定有25～50个搞化学的，首席化学家有自己的办公室——特别是，他戴眼镜，跟电影里的似的——那些家伙，总是进来问些关于正在进行的项目中的问题，从他那里得到建议，然后冲出去再做进一步的研究，那些人总在进进出出的。人家有25～50个搞化学的，

咱怎么能跟人家较劲啊？”

“你要是知道，你正在和米特普拉斯特公司的首席化学家交谈，会觉得很有趣吧，他手下只有一个洗瓶子的！”

第2部分　在普林斯顿大学的岁月

“别逗了，费曼先生！”

我在麻省理工学院那阵子，真是喜欢它。我觉得那是个了不起的地方。我当然也想在那儿读研究生。可我去看了斯莱特（Slater）教授，把我的想法跟他说了，他说：“我们可不想把你留这儿。”

我说：“什么？”

斯莱特问：“你为什么认为你应该在麻省理工学院读研究生？”

“因为，论科学，麻省理工学院的研究生院全国最棒。”

“你是这么认为的？”

“是啊。”

“那就是你为什么应该另外找个学校的原因。你应该去发现这世界别的地方怎么样。”

我于是决定去普林斯顿大学。普林斯顿大学有高雅的一面。它部分的是仿效英国的学校。兄弟会那帮家伙，都知道我举止不雅驯，一副随随便便的样子，就开始发表评论了，说：“让他们瞧好吧，他们让谁到了普林斯顿大学！让他们瞧瞧自己犯的错误！”因此，我到普林斯顿大学的时候，就尽量乖一点儿。

我父亲开车把我送到了普林斯顿大学，我找到了自己的房间，他就

走了。还不到一小时，我就遇到了一个人：“鄙人乃本舍主事，请容禀告，院长午后专设茶会，希望各位光临。或许您可以通知您的室友瑟瑞特先生。”

我就这么进了普林斯顿大学的研究生“院”，全体学生都住这儿。这好像是模仿牛津或者剑桥——连说话都是英国味儿（这位主事是个“法国文学”教授）。楼下有位门房，各人的房间都挺雅致。我们还穿着学位服，在装了彩绘玻璃窗的大餐厅里，一块儿吃饭。

就这样，到了普大的当天下午，我就赶赴院长的茶会，而我连“茶会”是什么玩意儿都不知道，再说，茶什么会啊！我什么社交能力都没有；对那路事儿，我没什么经验。

于是，我就走到那门口，院长艾森哈特（Eisenhart）在那里向新生致意：“啊，您是费曼先生，”他说，“我们很高兴您来。”这多少让我放松了些，不知道他怎么认得我。

我进了门，还有些女士呢，女孩儿也有。这整个都太正式了，我心里盘算着坐哪儿好，我该不该挨着这女孩儿坐，我举止应该如何，正在这时，我听见背后有个声音。

“您的茶，是加奶油，还是柠檬汁儿，费曼先生？”是艾森哈特夫人，在倒茶呢。

“两样儿都要吧，谢了啊。”我说着，还在张望着找坐的地方，其时我突然听到：“呵、呵、呵、呵、呵，别逗了，费曼先生！”

逗？逗什么逗？我没说过什么话呀？过后，我才意识到我干了什么。这就是我第一次参加茶会这玩意儿的经历了。

后来，那是我在普林斯顿大学待了很长时间之后的事儿，我才明白

了这种“呵、呵、呵、呵、呵”是个什么意思。实际上，我是在离开那个首次茶会的时候，意识到了那意思是“你犯了个社交错误”。因为下次我从艾森哈特夫人那里听到同样的嘎嘎笑，“呵、呵、呵、呵、呵”，其时有个家伙在离开的时候，亲吻了她的手。

另外一次，大概是一年之后吧，在另外一次茶会上，我告诉魏尔德（Wildt）教授，有个天文学家，已经搞出了一个理论，来解释金星上的云彩。那些云彩被认为是甲醛（我们曾经对那些云彩很担忧，知道这一点儿，是很有意思的），现在，这个天文学家把这个搞明白了，甲醛是怎么形成的，诸如此类。这理论非常有意思。我们说着说着这事儿，一个小巧的夫人走过来，说：“费曼先生，艾森哈特夫人希望见见您。”

“好的，稍等……”我还在继续跟魏尔德聊。

小巧的夫人又来了，说：“费曼先生，艾森哈特夫人希望见见您。”

“好的，好的！”我走到艾森哈特夫人那儿，她正倒茶呢。

“您来点儿咖啡，还是茶，费曼先生？”

“那什么什么夫人说，你想跟我聊。”

“呵、呵、呵、呵、呵。您要来点儿咖啡还是茶，费曼先生？”

“茶，”我说，“谢谢。”

不多工夫，艾森哈特夫人的女儿和一个同学过来了，我们互相做了介绍。这种“呵、呵、呵”，整个意思是：艾森哈特夫人不想跟我聊；她女儿和朋友来了，她就想要我过去喝茶，两个女孩儿也好有个说话儿的啊。就这么个这名堂。当时，我听到“呵、呵、呵、呵、呵”的时候，还知道怎么办。我没说，你“呵、呵、呵、呵、呵”，什么意思啊，你？我

知道“呵、呵、呵”意味着“错误”，我还是把这事儿弄清楚的好。

每天晚上我们都穿学位服去吃晚饭。第一天晚上，差点儿没把我魂吓掉了，因为我不喜欢场面。但我很快就发现，学位服有个好处。那些在外头打网球的家伙，冲进房间，抓起学位服就往身上套。他们不必费劲换衣服，或者冲个澡什么的。这么说，学位服下面，是光着膀子的或T恤衫什么的。除此之外，有规矩，你永远也不要洗学位服，因此你能分得清谁是一年级的，谁是二年级的，谁是三年级的，谁是猪！这个学位服，你用不着浆洗缝补，所以一年级的，学位服还是非常好看、相对干净的，可到了大约三年级那时候，这学位服就跟挂在你肩膀上的硬纸板儿似的，碎布条儿啷当着。

因此，我在普林斯顿上学的时候，星期天下午穿学位服去喝茶，当天晚上到“院里”去。但是在星期一，我头一件想做的事儿，是去找回旋加速器。

在我还是普林斯顿大学的学生的时候，普林斯顿大学建造了一个新的回旋加速器，建得真叫漂亮！回旋加速器本身在一个房间里，控制台在另一个房间里。这工程，造得漂亮。通过管道，电线从控制间通到加速器上，控制台上满是按钮和仪表。我把这东西叫作镀金的回旋加速器。

那时我读了很多关于加速器实验的论文，麻省理工学院的人写得不多。也许他们才刚刚起步。但是好多实验结果，来自康奈尔大学（Cornell）和加利福尼亚大学伯克利总校（Berkeley）；最突出的是普林斯顿大学。因此，我真想看到的东西，我一直在寻找的东西，就是普林斯顿的回旋加速器。那一定是一个了不起的东西！

因此，星期一的头一桩事儿，是我到了物理楼，问：“回旋加速器在哪儿——哪个楼？”

“楼下，地下室里——大厅尽头儿。”

在地下室？那是个老楼。地下室没足够的地方放回旋加速器啊。我走到大厅尽头，进了门儿，在10秒钟之内，我明白了为什么普林斯顿正是我该来的地方——我上学，这就是最好的去处了。这房间里，到处都拉着电线！开关在电线上吊着，冷却水从阀门上滴答着，满屋子都是东西，都晾在外头。到处都是桌子，上面堆着工具，这是你看到过的最凌乱不堪的地方。整个加速器占了一个屋子，那可真叫一个乱哪。

这让我想起了我家里的实验室。麻省理工学院没有什么东西能让我想起家里的实验室。我突然意识到，为什么普林斯顿能出成果。他们是用这设备干活儿呢。他们建造的这设备，他们知道哪儿是哪儿，他们知道一切是怎么运作的，用不着麻烦工程师；有工程师的话，他也在那儿干活儿。它比麻省理工学院的那个回旋加速器小得多吗？它是“镀金的”吗？——恰恰相反，在他们想修理一个真空罐的时候，就在上面滴一点儿甘酞树脂。因此地板上就滴着甘酞树脂。这很好啊！因为他们用这东西干活儿。他们不必坐在另一个房间里按按钮！（意外的是，他们那房间里起了火，因为他们把房间折腾得那个乱劲儿——电线太多——结果把回旋加速器给毁了。但我最好别讲这事儿！）

（我到康奈尔大学去看过那里的一台回旋加速器。这台加速器，还用不了一个房间来放：它差不多1米宽——我是说这东西整个的直径。这是世界上最小的加速器，但他们取得了令人瞠目的成绩。他们有各种各样的特别技巧和窍门。如果他们想修理“D”（粒子运行的D形环路）里面的什么东西，他们就动手用螺丝刀把D拆下来，修好了，再安上去。在普林斯顿，事情麻烦得多；在麻省理工，你必得用一架在天花板上滚动的起重机，把钩子垂下来，那真叫干活儿啊。）

从不同的学校，我学到了不少。麻省理工是个非常好的地方；我不会说它的坏话。我简直就是爱上了它。它为自己培养了一种精神，所以

那整个地方的每一个人，都认为那是世界上最美妙的地方——它不知怎么就是美国的（即使不是世界的）科技发展中心。这好像纽约人对纽约的看法：他们把这国家的别的地方给忘了。如果你没有一种很好的全局感，那么你跟它相伴，身在其中，有动力和愿望与它一道前进，这感觉就是不错——你是上天特别选上的，能在那儿是一种幸运。

这就是说，麻省理工是很好的，但斯莱特告诉我，到别的学校读研究生，是对的。我也经常给我的学生同样的建议。了解这世界的别的地方是个什么样子。这种多样性，值。

我曾经在普林斯顿的加速器实验室里做了一个实验，取得了令人震惊的结果。在一本流体力学的书里，有一个问题，学物理的学生一直在讨论。问题是这样的：你有一个S形的草坪喷水器——装在转轴上的一个S形管子——水以合适的角度向轴线方向喷，这就使它朝某一方向转动。人人都知道它是怎么转的；它向与水喷出的方向相反的方向倒退。现在问题是这样：如果你有一个湖，或者游泳池——水有的是——你把这个喷水器整个放在水下，却让它往里吸水，而不是往外喷水，它朝哪个方向转？它还是会像它在向空中喷水的时候那样转吗？或者它会朝相反的方向转？

乍看起来，答案是很清楚的。麻烦的是，有些家伙很清楚，答案是这个方向；另外一些家伙也很清楚，答案却是另一个方向。因此，大家都在讨论这个问题。我记得，在一次特别的讨论会上，兴许是茶会，有人走到约翰·惠勒（John Wheeler）教授跟前，说：“您认为它朝哪个方向走？”

惠勒说：“昨天，费曼让我相信，它倒退着转。今天，他同样让我相信，它朝相反的方向转。我不知道明天他会让我相信它怎么个转法儿！”

我将告诉你一个论点，让你认为它是朝某个方向走的；我再告诉你另一个论点，让你认为它是朝另一个方向走的。好吧？

第一个论点是这样：当你往里吸水的时候，你是往管子口儿里吸水，因此管子是迎着往里进的水往前走的。

可是，另外一个家伙，过来说，“假如我们把管子抓牢，并且问问，我们需要多大的转矩[10]才能把管子抓牢。如果水是往外喷的，我们大家都知道，你必须在曲线的外缘抓牢它，因为水流产生的离心力是绕着这条曲线走的。可现在，假定水以相反的方向绕着同一条曲线往里吸，它仍然产生朝这曲线外缘的相同的离心力。因此，这两种情况是一样的，喷水器将朝同一个方向转，无论你让它往外喷水，还是让它朝里吸水。”

我思考了一阵子，终于想清楚了答案是什么；为了演示这个答案，我想做个实验。

在普林斯顿的加速器实验室里，他们有一个用藤罩保护的大玻璃瓶子。我觉得这东西刚好可以用来做实验。我弄了一段黄铜管儿，把它弯成S形。然后，我在它中间钻了一个孔，塞进一段橡皮管，让这橡皮管从我塞在那个大玻璃瓶口上的软木塞中间穿过。软木塞上还有一个孔，我把另一段橡皮管插在这个孔里，把它接到实验室的空压机上。往这大瓶子里吹气，我可以强迫水进入黄铜管，正像我用嘴把水吸出来似的。现在，S形管儿是不会转的，但它会扭动（因为橡皮管软塌塌的），然后我会通过测量水流从大玻璃瓶口上射得多远，来测量水流的速度。

我把设备都安装好了，把空压机打开，“噗”地一声，气压把软木塞顶出了瓶子。我用铁丝把它好好绑在瓶口上，这样它就不会崩出来了。现在，这实验进行得相当好。水正在出来，橡皮软管扭动个不亦乐乎，于是我又增加了一点儿压力，因为速度快一点儿，测量会更准。我仔细

地测量了角度，测量了距离，然后又增加压力。突然，这整个东西把瓶子压碎了，玻璃片和水在实验室里四下飞散。一个过来看热闹的家伙，被淋成了落汤鸡，不得不回家换衣服去（玻璃片没伤着他，倒是个奇迹）。用加速器耐心拍摄的大量云室照片，也被淋得一塌糊涂。但我当时不知怎么站的足够远，或者站的位置凑巧，我倒没淋得太厉害。但我一辈子也不会忘记，负责加速器的德尔·萨索（Del Sassor）教授，是怎么走到我面前的，他声色俱厉地说："新生的实验，应该在新生实验室做啊！"

我——！

在普林斯顿大学研究生院，每星期三，各路神仙都来演讲。讲话的经常很有趣儿。讲话后的讨论，通常非常好玩儿。比方说，我们学校有个坚定反对天主教的家伙，他提前为那些准备向宗教人物提问的人提供问题，把那些讲话的整得好惨。

另外一次，有人发表了一个关于诗歌的演讲。他讲了一首诗的结构，以及这诗所附带的感情。他把什么东西都分门别类。在其后的讨论中，他说："艾森哈特博士，这和数学中的情形，是否相同呢？"

艾森哈特博士是研究生院的院长，一个大数学教授。他也非常聪明。他说："我倒愿意知道，迪克·费曼怎么看这个问题和理论物理学之间的关系。"他经常把我置于这种境地中。

我站起来说："是的，关系非常紧密。在理论物理学中，相当于词语的那个东西，就是数学公式。诗歌结构，相当于理论的这个这个和那个那个之间的相互关系。"——我滔滔不绝地讲了一大通，做了一个完美的类比。演讲者听得眼睛发亮，好不得意。

然后，我说："在我看来，好像是这样：关于诗歌，随便你说什么，我都能找到个法子，把它和任何学科相提并论，正如刚才我把它和理论物理学相提并论一样。我并不认为这种类比有什么意思！"

在那个装了彩绘玻璃窗的大餐厅里，就是我们总在那儿穿着越发破烂不堪的学位服吃饭的那个，艾森哈特院长在开饭之前，总用拉丁语谢神。饭后，他经常站起来宣布几件事儿。有一天晚上，艾森哈特博士站起来说："从现在起两个星期后，一位心理学教授，要来这里发表一个关于催眠术的演讲。这个这个，这位教授认为，如果我们真的演示一下催眠术，要比光说不练强得多。因此，他希望有人自告奋勇，接受催眠术……"

我心花怒放：这不成问题，我一直想了解催眠术。机会难得！

艾森哈特院长接着说，如果有三四个志愿者，那就好了。这位催眠师就能先试试他们，看谁能够被催眠，因此，他竭力敦促我们能够提供这么多的人选。（他总是这么浪费时间，我的个老天爷！）

艾森哈特坐在大厅那边儿，我呢，总坐在另一边儿靠后的地方。那里有好几百个家伙。我知道，人人都会争先恐后担当此任。因为我远远地坐在后头，他看不到我，我急得要上树。在这次演示当中，我必须当仁不让！

最后，艾森哈特说："我愿意问问各位，有没有自告奋勇的……"

我举着手，在座位上高喊，尽我所能叫得山响，我得保证他能听到我："我——！"

他听得见，因为没有别的主儿响应。我的声音在大厅里回荡——好尴尬啊。艾森哈特立刻答话："好的，当然，我就知道你会当仁不让，费曼先生；但是，我倒想知道，还有别人吗？"

最后，另外几个家伙也报了名儿。一个星期以后，那人来这里拿我们做试验，看看我们几个当中，有没有适合于催眠术的。催眠术这东西，我知道；但被人家催眠了，是个什么感觉，我不知道。

他开始拿我操作，我一进入位置，他就说：“你没办法把眼睁开。”

我心里对自己说：“我敢打赌，我能把眼睁开，但我不想毁了这阵势，让俺见识一下，他还能搞出什么名堂来。”这境况蛮有趣儿，你仅仅有那么一丁点儿迷糊，尽管你有那么一点儿失去控制，你还是很能拿得准，你是能把眼睁开的。但是，你就是不睁眼，从某种意义上说，你也就当然睁不开眼了。

他折腾了好一阵子，蛮有把握我是个很不错的人选。

当真正的演示来临的时候，他让我们走到台上来，当着普林斯顿大学研究生院全体师生的面，给我们实施催眠术。这次，效果强烈些；我猜我已经学会了怎么被催眠。这位催眠师搞的演示五花八门，让我做一些我通常做不来的事儿。到末了，他说，在我从催眠状态苏醒过来之后，我不是径直回到我的座位上（径直回去，本是当然的），而是在这房子里绕来绕去，从后面走回我的座位。

在整个演示过程中，我模模糊糊地意识到正在捣鼓的是什么，也照催眠师的吩咐，干这干那；但这一次，我拿定了主意：“去他的，够了够了！我就是要径直找座儿去。”

起身下台的时候到了，我开始直截了当地往我座位上走。可是，我有了一种气恼的感觉：我不能继续那样走了，这感觉太不舒服。我呢，在大厅里绕开了圈子。

在那之后，有一次，我被一个女人催眠了。在我进入催眠状态时，她说：“我要划一根火柴，吹灭它，然后马上放在你手背上，而你一点

儿也不会觉得疼。”

我想：“扯淡！”她拿出一根火柴，划着，吹灭，放在我手背上。我觉得有点儿热乎乎的。在这过程中，我眼一直闭着，但我在想：“那容易。她划一根火柴，放在我手背上的却是另一根儿。偷梁换柱罢了；装神弄鬼呗！”

在我从催眠状态醒来的时候，我看了看手背，结果大吃一惊：我手背上有烧伤。很快起了一个水疱儿，可一点儿不疼，连破了的时候也不疼。

我因此发现催眠是一种非常有趣的体验。你一直在对自己说：“我能做那件事儿，但我不想做”——换句话说，你做不到。

猫地图？

在普林斯顿大学研究生院的餐厅里，人人都有自己的圈子。我和学物理的闲坐，但过了一阵子，我想：去看看这世界上别的地方搞些什么名堂，或许好玩儿吧。于是，我每一两个星期，就去别的圈子坐坐。

我和学哲学的坐一块儿的时候，我听他们相当严肃地讨论一本书，叫《过程与实在》（Process and Reality），怀特海[11]写的。他们的措辞，好玩儿，我听不大明白他们说的啥。我现在不想打搅人家的谈话，不想没完没了地要求人家解释这个解释那个。倒有几次，我要他们解释，他们也乐意为我解释，可我还是摸不着头脑。最后，他们请我参加他们的讨论会。

他们的讨论会，像是上课。每周聚会一次，讨论几章《过程与现实》——某个家伙先发表一个关于这书的报告，接着是讨论。我来参加

这个讨论会，对自己下了保证，把嘴闭上，时时提醒自己对这个学科一无所知；我到那儿，看景儿而已。

那儿发生的事儿，够典型的——典型到难以置信，却是真的。首先，我坐在那儿，一言不发，这就难以置信，但也是真的。一个学生做了个报告，说的是那周要讨论的那章书。在书里，怀特海不停地使用“本质对象”（“essential object”）这词儿，使用的方式很技术化，他想必是对这个词儿定义过，但我听不懂。

在讨论了一阵子之后，关于“本质对象”是个什么意思，主持讨论会的教授说了些什么话，意在澄清一些东西，还在黑板上画了一种像是闪电的玩意儿。“费曼先生，”他说，“你说，电子是‘本质对象’吗？”

哦，我麻烦来了。我承认，我没读过这书；怀特海用这个短语是个什么意思，我一点儿不明白。我到这儿来，仅仅是看看热闹。“但是，”我说，“如果教授先回答我的一个问题，我将努力回答教授的问题。砖头是本质对象吗？”

我想做的，是想发现他们认不认为理论构想是本质对象。电子是一种我们使用的理论；在理解自然运行的方式上，它太有用了，我们几乎可以说它是真实的。通过类比，我想把关于理论的一个看法讲清楚。说到砖头，我下一个问题将是：“砖头的里面是怎样的？”——我将指出，没有人曾经看到过砖头里面是怎样的。你每次把砖头打碎，你只能看到表面。砖头有一个里面，仅仅是一个理论，这个理论帮助我们理解事物理解得好一点儿。关于电子的理论，是类比性质的。因此，开始的时候，我问：“砖头是本质对象吗？”

几个回答于是就出来了。有个人站起来说：“一块砖头，作为一块个别的、特殊的砖头，那就是怀特海说的本质对象的意思。”

另一个人说："不对啊，一块个别的砖头，可不是本质对象；所有砖头共同具有的那种一般特性——即它们的'砖性'——才是本质对象。"

又有一个家伙站起来说："不，'本质对象'不在砖头自身。'本质对象'，意思是心灵里的一个观念；当你思考砖头的时候，你就有这个观念。"

又一个家伙站起来，又是另外一个。我告诉你，看一块砖头，竟然有这么多别出心裁的不同方式，我以前可是闻所未闻。而且，正如在那些关于哲学家的故事里讲的那样，这讨论会在完全的混乱中结束。在他们以前的全部讨论中，他们甚至不曾问过自己，像砖头这么简单的对象，像电子这么更简单的对象，是不是"本质对象"。

在那之后，在晚饭时间，我就去了生物学那桌转悠。我一直对生物学有些兴趣，那些家伙谈的是很有意思的事情。他们中有几位邀请我来听听他们的细胞生理学。对生物学，我略知一二，但这是个研究生的课。"你认为我招架得住吗？教授让我进去吗？"我问。

我们问过那位讲师，牛顿·哈维（H.Newton Harvey），这人做了许多关于发光细菌的研究。哈维说，我可以参加这个特别的、高等的课程，但有一样——我要做全部的作业，要交书面报告，与别人一视同仁。

还没上第一节课之前，那些请我来上课的家伙，想给我看看显微镜下面的什么东西。他们在那里放了一些植物细胞，你可以看到一些小小的绿点子，那叫叶绿体（阳光照在上面，它就制造糖），在那里兜圈子。我看了看，抬起头问："它是怎么兜圈子的？什么玩意儿推着它转？"

没人知道。后来我知道，在那个时候，这种兜圈子还没有被大家理

解。因此，我立刻就发现了生物学的一件事儿：很容易发现一个非常有意思的问题，却没人知道它的答案。在物理学那里，你一定要走得深入一点儿，你才能发现一个大家都不知道的有意思的问题。

开课了，哈维开始在黑板上画了一幅很棒的大画儿，画的是细胞，为细胞里全部东西都加了标签。然后他就开始讲这些东西，他讲的，大部分我都能懂。

画儿讲完了，那个请我来上课的家伙说："喂，怎么样？"

"还行，"我说，"我唯一不明白的，是卵磷脂的那一部分。什么是卵磷脂？"

这家伙就开始用那种单调乏味的声音解释："所有有生命的东西，植物和动物都一样，都是由跟小砖头似的东西构成的，那叫'细胞'……"

"听着，"我不耐烦了，"那个，我知道；否则我不来上这课了。什么是卵磷脂？"

"我不知道。"

我必须和别人一样递交书面报告，布置给我的第一个报告，是关于作用于细胞上的压力效果——哈维给我选了这么个题目，是因为它和物理学有关。尽管我理解我做的事情，但我在读报告的时候，把术语都念错了。在我谈论"分裂蛋儿"而不是"分裂球儿"以及别的诸如此类的东西的时候，全班总是笑得前仰后合。

给我选的第二篇文章，是亚德里安[12]和布朗克[13]写的。他们表明，神经脉冲是一种尖锐的单脉冲现象。他们曾经拿猫做过试验，测量过神经上的电压。

我开始读这篇论文。这文章老是谈伸肌、屈肌、腓肠肌之类的东西。这块肌肉，那块肌肉，都是有名字的，但这些肌肉在神经的什么位置上，或者在猫的哪块，我整个是一头雾水。于是我就去找生物学部的图书馆员，问她能不能给我找一张猫地图。

“猫地图，先生？”她相当恐怖地问我，“您的意思是，一张动物园的导游图！”从此以后，就起了传言，说是有个学生物的傻瓜学生，在找一张“猫地图”。

到我讲这个题目的时候，我开始画了一幅猫的轮廓，把许多肌肉都标上名字。

班上别的学生打断了我：“那些东西我们都知道！”

“哦，”我说，“你们知道？怪不得我能这么快就赶上你们这些学了四年生物的。”15分钟能找得到的东西，他们却把时间都浪费在死记硬背这种东西上。

第二次世界大战之后，每个夏天我都可以开车到美国的什么地方旅游。有一年，在我到了加州理工学院以后，我想：“这个夏天，我不再到不同的地方了，我要到一个不同的领域。”

那时正是华生和克里克[14]发现DNA双螺旋结构之后不久。加州理工学院有一些很棒的生物学家，因为德尔布鲁克[15]的实验室就在那儿，华生也来加州理工学院做DNA密码系统的讲座。我听了他的讲座，也参加了生物系的讨论会，热情十足。那是生物学领域非常令人振奋的时代。待在加州理工学院，真是妙啊。

我不认为我会真的做一些生物学的研究，因此，我在夏天去访问生物学领域的时候，我不过是在生物学实验室里磨蹭，“洗洗盘子”而已，顺便也看看他们在搞些什么。我去了生物学实验室，把我这想法告诉了

他们。罗伯特·埃德加（Robert Edgar），一个年轻的博士后，在那里负点儿什么责任，说他不会让我这么干。他说：“你必得真的做点儿研究才成，像研究生那样，我们就给你一个问题，让你干。”正中下怀。

我听了一门抗生素的课，告诉我们怎么怎么进行抗生素的研究（噬菌体是一种病毒，它有DNA，攻击细菌）。我立刻发现，我免除了不少麻烦，因为我懂一些物理学和数学。我知道原子在液体里是怎么回事，因此离心机是怎么工作的，就没有什么神秘的了。我知道的统计学，足够让我在数培养皿上的小点点的时候，理解统计学上的偏差。正当生物学的家伙们在费劲理解这些“新”事物的时候，我可以把时间用于学习生物学的部分。

有一个有用的试验技巧，是我从那个课上学会的，今天我仍然用得上。他们教给我们怎么用一只手拿试管，还得把试管帽取下来（用中指和食指），把另一只手腾出来干别的（比方说用吸管来吸氰化物）。现在，我能用一只手拿牙刷，而用另一只手拿牙膏，把帽儿扭下来，扭上去。

已经发现，抗生素能够发生突变，这种突变能够影响它们对细菌的攻击力，我们的任务是研究那些突变。还有一些抗生素，会发生二次突变，能使它们重新组织起对细菌的攻击力。有些抗生素突变回去了，跟它们以前一模一样。另外一些不是这样：它们对细菌的作用，有一点儿轻微的改变——它们的行动，会比通常的快些或者慢些，细菌也比通常生长得慢些或者快些。换句话说，存在一些“后转突变”，但这些突变并不总是完美的；有时抗生素仅仅会部分地恢复它们失去的能力。

埃德加建议我做一个试验，发现这种后转突变，是否发生在DNA螺旋体的同一个地方。小心翼翼，加上大量单调的工作，我发现了后转突变的三个例子，发生的地方非常靠近——比目前他们看到的任何东西都更靠近——这三个突变也使抗生素的作用能力得到部分的恢复。这工作

做得很慢，好像是守株待兔：你不得不等啊等啊，直等到你遇到个很稀奇的二次突变。

我一直在想方设法如何让抗生素更经常地突变，如何更快地侦察到突变；但是，我还没赶上掌握一种好技术，夏天完了，而我也不想继续研究这问题了。

可是，我的休假年来了，因此我打算继续在这个生物学实验室工作，但研究另外一个题目。我和马特·梅瑟尔森（Matt Meselson）工作了一阵子，然后从英国来了个挺不错的伙计，叫史密斯（J.D.Smith）。这课题和核糖体[16]有关。核糖体是细胞里的“机器”，它用我们现在叫作信使RNA的那种东西来制造蛋白质。用放射性物质，我们可以证明RNA能够从核糖体中出来，也能回去。

我小心翼翼地测量和控制一切，但花费了我8个月的时间，我才意识到有一个步骤做得毛糙了。在准备细菌的时候，要把核糖体从细菌里弄出去，在那年头细菌是依附在氧化铝上在研钵里研磨的。除了研钵，别的东西都是化学的，都在控制之下；但是，在你研磨细菌的时候，你无论如何也不可能两次完全重复研杵的动作。因此，这种试验弄不出什么结果。

我想我一定要讲讲那次我和希尔迪噶德·兰姆弗罗姆（Hildegarde Lamfrom），想发现豌豆是不是也和细菌一样能利用核糖体。问题是：细菌的核糖体，是否可以制造人类或者其他生物体的蛋白质。她刚刚搞出了一个方法，能从豌豆中提取出核糖体，并且给豌豆核糖体信使RNA，这样豌豆核糖体就会制造豌豆的蛋白质。我们意识到了一个非常具有戏剧性和重要性的问题，即如果我们把豌豆的信使RNA给细菌的核糖体，那么这个细菌的核糖体会制造豌豆蛋白质还是细菌蛋白质。那将是一个非常具有戏剧性和根本性的实验。

希尔迪噶德说：“我需要大量细菌核糖体。”

梅瑟尔森和我从大肠杆菌提取了大量核糖体，好用来做其他实验。我说：“该死，我会把我们弄到的核糖体给你的。我们有的是，在我实验室的冰箱里。”

如果我是一个很棒的生物学家，那将会是一个令人叫绝的大发现。但我不是个很棒的生物学家。我们想法很棒，实验很棒，设备合用，但我把事情弄得一团糟：我给她的是被感染了的核糖体——在那种实验中，那是你可能犯的最低级的错误。我的核糖体在冰箱里放了差不多一个月，被某种别的生物体污染了。假如我重新赶紧准备好核糖体，交给她的时候，当心点儿、小心点儿，把什么事情都控制好，那个实验是会有结果的，我们也会第一个发现生命一致性（uniformity）：制造蛋白质的机器，即核糖体，在每个生物中都是相同的。我们站的位置没错儿，我们做的事儿没错儿，但是我做事儿像个外行——愚蠢不堪、邋里邋遢。

你知道这让我想起了什么事儿？福楼拜书里的包法利夫人的老公，一个蠢笨的乡村郎中，冒出个念头，要给人家治歪脚，他的搞法不过是拿着大伙儿穷折腾。我和这位缺乏训练的医生，差不多。

和抗生素有关的另外一个工作，我从来也没写下来——埃德加一直要求我写下来，可我就是没腾出工夫考虑。你不在自己的领域里，就有这毛病：你不把它当回事儿。

我倒也马马虎虎地写了个东西。我把它寄给了埃德加。他读的时候，笑得喷茶。那东西没按照生物学家的套路来写——首先是，程序，如此等等。我花费了大量时间来解释所有生物学家都知道的事情。埃德加搞了个缩写本，我却看不懂了。我想他们没把它发表。我可从来没直接那样发表。

华生认为我用抗生素搞的那些东西，有点儿意思，所以他邀请我到了哈佛。我给生物系讲了个话，谈的是二次突变发生得那么靠近。我告诉他们，我的猜测，是一个突变在蛋白质里造成了变化，比方说，改变了氨基酸的pH，而另外一个突变在同一个蛋白质分子里的氨基酸那里制造了一个相反的变化，因此它部分地平衡了第一个突变——平衡得不太完美，但足以使抗生素重新运作起来。我认为那是在同一个蛋白质分子里的两个变化，它们在化学上互相抵消了。

结果证明不是这么回事儿。几年后，毫无疑问，有人搞出了一种技术，能更快地制造突变和侦察到突变，他们发现，第一个突变是这样一个突变：其中的DNA碱基全部丢失了。这样，“密码”移位了，再也不能被“识别”。在第二个突变当中，或者是一个额外的碱基被放回去了，或者是又有两个碱基给弄出去了。现在，密码又能识别了。第二个突变发生得离第一个突变越近，被这种二次突变改变的信息就越少，抗生素一度失去的能力就恢复得越完全。每个氨基酸分子，要由三个“字母”来编码，这个事实于是昭然若揭。

我在哈佛的那个星期，华生提起了个什么事情，我们就一起做了几天的实验。那实验没做完，但我从世界上最棒的人那里，学到了一些新的实验技巧。

但那可是我了不得的时刻：我给哈佛的生物系上了一课！我总是这么干，一头扎在什么东西里，看看我能走得多远。

我学到了许多生物学的东西，得到了许多经验。生物学术语的发音发得准了一点儿，知道在论文里和讨论会上不能什么都说，还察觉到了实验里的一个技巧上的弱点。但我爱物理学，我愿意重新投身到物理学当中去。

魔鬼头脑

我在普林斯顿大学读研究生的时候，在约翰·惠勒手下做研究助手。他要我解决个问题，这问题难了，我毫无进展。因此，我想起了我早先在麻省理工学院就有的一个想法。这想法是：电子不对自己发生作用，只对其他电子发生作用。

有这么个问题：在你振动一个电子的时候，它就辐射出能量，于是它就失去了一点儿能量。这意味着一定有一个力作用于它。当这个电子带电荷的时候，和它不带电荷的时候，那个力必定是不同的。（如果电子在带电荷和不带电荷的时候，力是严格一样的，在一个情形中它失去能量，而在另一个情形中不失去能量。你对同一个问题，不能有两个不同的答案。）

标准理论是这样：电子依靠自己活动，这才产生了那个力（所谓辐射反应力），但我看到的是，电子只有依靠别的电子才活动。因此，当时我意识到，我麻烦了。（我在麻省理工学院的时候，就有了这个想法，但没意识到这个问题；到我在普林斯顿的时候，我知道了这个问题。）

我想的东西是这样：我将振动这个电子。它将使附近的某个电子也振动，从附近某个电子返回来的效应，或许就是辐射反应力的来源吧。因此我做了一些计算，把结果送给了惠勒。

惠勒立刻就说，“呵，那不对，因为，你的意思是，它与其他电子之间的距离的平方成反比；然而，它完全不应该决定于这些变量中的任何变量。照你那么说，它还与其他电子的质量成反比呢；它还与其他电子的电荷成正比呢。”

让我闹心的是，我以为他想必一定做过这个计算。只是后来我才知

道，像惠勒这样一个人，你一把那个问题给他，他一眼就能看明白所有的东西。我必得计算，可他看看就明白。

然后，他说，“它将会被延迟——波返回得晚——所以，你说的这些，不过是反射光而已。”

“哦！当然。”我说。

“可是，等一下，”他说，“让我们假定反射光是以超前波（及时返回来的反作用力）的方式返回来的，因此它就会立刻返回。我们已经知道，这种效应与距离的平方成反比；但是，假定有许多电子，都在空间当中：其数量与距离的平方成正比。因此，也许我们能够把它整个都抵消了。”

我们发现我们的确能那么做。结果非常好，正如所料。这是一种也许正确的经典理论，尽管它和麦克斯韦[17]或者洛伦兹[18]的标准理论不同。它没有电子自作用论的那种无限性的麻烦，它很巧妙。它有作用和延迟，有时间上的向前和退后——我们把它叫作“半超前与半延迟势位”。

惠勒和我想，下一个问题将转到关于电动力学的量子论上，这个理论（我想）和电子的自作用有麻烦。我们盘算着，如果我们能够先把经典物理学中的这个麻烦消除掉，然后从中搞出一个量子论，我们也能同样把量子论弄妥当。

既然我们已经把经典理论搞妥帖了，惠勒说，“费曼，你是个年轻的伙计——你应该为此开一个讨论会。在讲话方面，你是需要经验的。我也会解决量子论的部分，晚些时候，我也开一个讨论会。”

那是我第一次发表专业讲话，惠勒和尤金·魏格纳[19]做了安排，把这个讨论会加在了例行的讨论会计划中。

在讲话前的一两天，我在餐厅里见到了魏格纳。“费曼，”他说，“我想你和惠勒的工作很有意思，因此我已经邀请了罗素来参加讨论会。”亨利·诺里斯·罗素[20]，当时著名的大天文学家，来参加讲座！

魏格纳继续说：“我想冯·诺伊曼教授，也有兴趣。”约翰·冯·诺伊曼[21]在哪儿都是最伟大的数学家。“另外，泡利[22]教授眼下从瑞士到这儿访问，事儿凑巧了，所以我也邀请了泡利教授过来。”——泡利是一位非常有名的物理学家——到了这个时候，我脸都黄了。最后，魏格纳说：“只是爱因斯坦[23]教授难得光临我们每周一次的讨论会，但你的工作太有意思了，我也特别请了他，所以他也过来了。”

到了这个时候，我脸都绿了，因为魏格纳说：“别，别！别担心！但我只是想警告你：如果罗素教授睡着了——他肯定会睡着的——那不意味着这个讨论会很糟糕；他开什么讨论会都睡觉。另一方面，如果泡利教授不停地点头，好像从头到尾都对这个讨论会表示首肯似的，你也不必得意。泡利教授点头，是因为他有肌肉麻痹症。”

我回到惠勒教授那儿，一五一十地把这些有名的大人物数给他听，他们都来参加他让我弄的这个讲话，告诉他我六神无主了。

“没什么大不了的，”他说，“别担心。所有的问题，都由我来回答。”

于是我就准备着讲话，等那天来了的时候，我走进去，做了某种没有讲话经验的年轻人经常做的事儿——我在黑板上写了太多的方程式。你瞧，人年轻啊，话都不知道怎么说了：“当然，那个是反比，这个是这么搞的……”因为在座诸位都已经知道这些；他们一看就明白。但是，他却不明白。他实际上只能正儿八经地通过搞这些个代数计算来弄出结果——因此，就这么一片方程式。

正当我提前把这些方程式写得满黑板都是的时候，爱因斯坦进来了，兴味儿十足地说："哈喽，我参加你们的讨论会来了。可首先，这茶在哪儿啊？"

我告诉他茶在哪儿，接着继续写方程式。

然后，讲话的时间到了，就在这里，这些魔鬼头脑就在我面前，等着呢！我的第一次技术性讲话，就有这么一帮子听众！我的意思是，他们会把我压到榨汁机里！我记得很清楚，当他们从牛皮纸信封里把我的稿子拿出来的时候，我看到我的双手在哆嗦呢。

可是，有个奇迹发生了；在我一生中，这种奇迹一而再地发生。对我来说，太幸运了：从我开始思考物理学的那一刻起，我不得不把精神集中在我正在解释的东西上面，我脑子里什么杂念也没有了——我完全对神经兮兮产生了免疫力。因此，在我发动起来之后，我简直不知道在这屋子里的都是谁。我只是在解释这个想法，没别的。

但是，在讨论会的末尾，提问的时候到了。泡利，他挨着爱因斯坦坐着，立刻站起来说："我银为这嘎理论不可能对，银为这噶、这噶，还有这噶，"他转向爱因斯坦说，"你同意吗，爱因斯坦教授？"

爱因斯坦说："不——同——意。"和和气气的，德国味儿的"不同意"，很礼貌的。"我只是发现，要为引力相互作用搞出一种相应的理论，会是很困难的。"他说的引力相互作用，意思是他的广义相对论，那是他的小宝宝。他继续说："因为，到目前为止，我们还没有太多的实验证据，我对正确的引力理论，还没有绝对的把握。"爱因斯坦坦然承认，事情或许会和他的理论所说的不同；他对别的观念很宽容。

我希望我能记得泡利说了什么，因为，若干年后，我发现，当这个理论用来建立量子论的时候，它不能令人满意。可能是这样：这个大腕

儿立刻就注意到了麻烦所在，接着就为我解释成问题的东西，但我不必回答问题，这使我大大松了一口气，以至于我没有仔细听他们说什么。我确实记得我和泡利一起走上了帕尔默图书馆（Palmer Library）的台阶，他对我说：“到惠勒演讲的时候，关于量子论，他会说些什么呢？”

我说：“我不知道。他没告诉我。他单打独斗。”

“哦？”他说，“这人干活儿却不告诉助手，他在为量子论搞些什么？”他走近一点儿，用低沉而神秘的声音说，“惠勒永远不会开那个讨论会的。”

他说准了。惠勒没开那个讨论会。他认为，把量子的部分搞出来，应该是容易的；他认为自己几乎把它搞出来了。但他没有。到讨论会该开了的时候，他意识到他不知道怎么弄了，因此没啥可说。

我也没解决这个问题——一种关于半超前与半延迟势位的量子论——我为此工作了好几年。

搅和油漆

为什么我说自己“没教养”或者“反知识分子”，其原因或许一直可以追溯到我上中学的时候。我一直担心自己娘娘腔，我不想让自己太娇气。在我看来，真正的男人不会在诗之类的东西上费心思。诗是怎么写成的——这个，从来没往我心里去！因此，我对那些研究“法国文学”的家伙，或者研究音乐和诗研究得过分了的家伙，起了一种消极的态度——那都是些“异想天开”的东西嘛。我更羡慕炼钢工人、焊工或者机修工。我总认为那些在机修厂里干活儿的，能造出东西来的家伙，他才是真正的家伙！那是我的态度。在我看来，做一个务实的人，不知怎么，总是一种正面的优点；“有教养”或者“知识分子”就不是了。前者是对

的，当然对；但是，后者，都是些疯子。

我在普林斯顿读研究生时，还有这种感觉，等会儿你就会看到。我常常在一家叫“爸爸的地方”的漂亮的小饭馆吃饭。有一天，我正在那儿吃着饭，一个油漆工穿着工装，从楼上他干活儿的房间里下来，在我近旁坐下来。不知怎么，我们就谈了起来。他开始聊干油漆这行，“你有好些东西要学。比方说，”他说，“在这个饭店里，要是你来干这个活儿，你用什么颜色漆墙面？”

我说我不知道，他就说：“你得在这么高的地方，留出深色的墙围子，因为，你瞧，守着桌子坐在那儿的那些人，胳膊肘擦着墙，所以你不想那里的墙面白白净净的。那儿太容易脏了。可从那儿往上，你确实希望它是白的，给人一种饭店里干净的感觉。”

这家伙似乎懂行，我坐在那儿，琢磨着他的话，他说：“你还得知道颜色的事儿——当你把油漆搅和起来的时候，怎么得到不同的颜色？比方说，要得到黄色的，你需要把什么不同颜色的油漆搅和起来？”

把不同颜色的油漆搅和起来，得到黄色的，这个我不知道。要说光的话，你把绿光和红光混起来就成，但我知道他说的是油漆。所以我说，“要是不用黄的，我不知道你怎么搞出黄的。”

“是这样，”他说，“你把红的和白的搅和到一块儿，就是黄的。”

“拿得准你说的不是粉红的？”

“不是，”他说，“是黄的。”——我相信他会弄成黄的，因为他是个专业的油漆工，而我一贯佩服像他那样的家伙。但我还是纳闷他是怎么弄成的。

我有了个想法。“那一定是某种化学变化。你用过什么特别的能发

生化学变化的色料吗？”

“没用过，”他说，“任何老式的色料都管用。你到杂货店去弄些油漆来——只要平常的一罐儿红油漆和平常的一罐儿白油漆——我会把它们搅和起来，我让你瞧瞧怎么得到黄油漆。”

到这节骨眼儿上，我就想了：“什么玩意儿发疯了。油漆，我知道得不少，知道弄不出黄的来，但他一定知道你一定会弄出黄的，因此有意思的事情来了。我一定得看个究竟！”于是我说：“得，我去弄油漆。”

油漆工上楼去了，好干完他的活儿。饭店老板过来对我说：“你憋着个什么心眼儿，要跟那人吵？那人是个油漆工；他干了一辈子的油漆工，他说他能弄成黄的。那你跟他吵吵个什么劲哪？”

我觉得尴尬了。我不知道说什么好，最后我说：“我一辈子，一直在研究光。我认为，用红的和白的，你弄不成黄的——你只能弄到粉红的。”

于是我去了杂货店，弄来了油漆，拿到饭店来。油漆工从楼上下来，饭店老板也凑过来。我把油漆罐儿放在一把旧椅子上，油漆工开始搅和油漆。他加一点儿红的，再加点儿白的——在我看来，还是粉红的——他又搅和了更多的。然后，他嘟嘟囔囔地说了这么一种意思，“我通常是加一小管儿黄油漆，为了把颜色提亮些——那样就会是黄的。”

“啊！”我说，“那当然！你加了黄的啊，所以你能搞成黄的；但是，没黄的，你就搞不来了。”

油漆工回到楼上，干活儿去了。

饭店老板说：“那小子真有胆子哈，敢跟一个研究了一辈子光的家

伙吵吵！”

但是这件事儿，表明我是多么信任那些“真正的家伙”。那个油漆工跟我说了那么多，听来蛮有道理；我呢，很愿意逮着个机会看看我有所不知的一个怪现象。我指望看到的是粉红，但我的思想状态是：“这个只此一家的弄到黄油漆的办法，想必是个有意思的新鲜事儿，我必得看个究竟。”

我在我的物理学中，经常出错儿，那是因为我以为某个理论实际上不那么好，以为有许多复杂情况会毁了这个理论——什么事儿都可能发生，就是这么一种态度，尽管你蛮有把握什么事儿才是应该发生的。

别具一格的工具箱

普林斯顿的研究生院，物理系和数学系共用一个休息室，每天四点钟，我们都来喝茶。那是下午放松的一种方式，姑且不提这是模仿英国的大学。大家坐着下围棋，或者讨论定理。那时候，拓扑学闹得正欢。

我仍然记得有个家伙坐在沙发上，冥思苦想呢，另一个家伙站在他面前，说：“因此，这个这个是正确的。”

“为什么是那样？”沙发上的那家伙问。

“不足挂齿！不足挂齿！”站着的家伙说，奋笔疾书了一套逻辑推导步骤：“首先，你设如此这般，于是我们有基尔霍夫（Kirchho）的这个那个，然后有沃芬斯多弗（Wa ensto er）定理，于是我们代入这个并建立那个。现在你把这个转动的矢量放在这儿，于是如此这般……”沙发上的那家伙苦苦挣扎着要理解所有这些东西，就这么高速折腾了差不多15分钟！

最后，站着的那家伙，从另一头儿推演了一遍，沙发上的那家伙说：“敢情，敢情，是不足挂齿啊！”

我们这些物理学家在笑，想猜出他们在搞什么名堂。我们断定“不足挂齿”意思是“已经得到了证明”。因此我们和数学家们开玩笑：“我们有了一个新定理——数学家只能证明那些不足挂齿的定理，因为每一个已经得到证明的定理都是不足挂齿的。”

数学家们不喜欢这个定理，而我就拿这个来逗他们。我说，没什么令人惊讶的——数学家只证明那些明摆着的事情。

对数学家而言，拓扑学完全不是明摆着的。有各种各样的奇异的可能性，是“反直觉的”。于是我有了一个念头。我向他们提出挑战：“我敢打赌，你连一个定理都说不出来——请用我能明白的措辞来说，你说的那些假定是什么，你说的那个定理是什么——而我却不能马上告诉你它是对的还是错的。”

事情经常弄成这样：他们想跟我解释什么，“你有了一个橘子，对吧？现在，你把这个橘子切成有限数量的许多块儿，你再把这些块儿摆回去凑在一起，它就跟太阳一样大。对还是错？”

“中间没空当儿？”

“没空当儿。”

“那就不可能了！纯粹异想天开嘛。”

“哈！我们可逮着他了！大伙儿都凑近来！那就是‘不可测量’定理啊！”

正当他们以为逮着我的时候，我提醒他们，“但是，你说的是橘

子！你不可能把橘子片儿切得比原子还薄。”

“但是，我们有连续性这个前提条件啊：我们可以切个不停！”

“切不得的，你说的是橘子嘛，因此我还当你说的是真正的橘子呢。”

因此，赢家总是我。如果我猜对了，伟大。如果我猜错了，我也总能找到他们忽略了的简单化处理方法。

实际上，我的那些猜测，是有一定量的货真价实的东西的。我有个方法，我至今还在用，当有人跟我解释某个我想理解的东西的时候，我就不停地提出例子。比方说，数学家们将要把一个棒极了的定理弄出来了，大家都很兴奋。当他们告诉我这定理的条件时，我就构想出一个符合所有这些条件的什么玩意儿来。你知道，他们说一个集合的时候（我就想到一个球儿）——他们说两个不相交的集合的时候（我就想到两个球儿）。在他们提出更多的附加条件的时候，球儿就出来颜色了，就长毛了，就怎么怎么的了。最后，他们开始发布那个定理了，我说：“不对啊！”因为这个定理不适用于我那个长毛的绿球儿。

如果是对的，他们就欢呼雀跃，我就让他们先高兴一阵子。然后呢，我就提出我的反例。

“哦，我们忘了告诉你，那是豪斯多夫第二类同态。”

“哦，那样的话，”我说，“它就不足挂齿！不足挂齿！”到那个时候，我知道了那是怎么回事，尽管我不知道豪斯多夫同态是个什么意思。

大多数时候，我猜得对；因为，尽管数学家们认为他们的拓扑学定理是反直觉的，但那些定理不像他们以为的那样难。对于这种超细致的

切割营生的那些好玩儿的属性，你是会习惯的；它的结果会是怎样的，你也能猜个八九不离十。

尽管我找了数学家许多麻烦，他们对我还是很和气的。他们是一群在一起搞东西的男孩儿，而且对自己搞的玩意儿兴奋不已。如果你问他们个简单的问题，他们就会讨论起他们那些“不足挂齿”的定理，也总是想为你解释清楚。

保罗·奥拉姆（Paul　　Olum）和我共用一个洗澡间。我们成了好朋友，他想教我数学。他教我“同伦群”，到那份儿上我就作罢了。但在那个水平之下的东西，我都学得相当好。

有一个东西，我怎么也没学会，就是路径积分法。我中学的老师贝德（Bader）先生给过我一本书，我从这书上学会了用各种不同方法来计算积分。

有一天下课后，他让我等一下。“费曼，”他说，“你话也太多了，聒噪个没完。我知道为什么。你觉得乏味。因此，我会给你一本书，你到后边那儿去，待在角落里，研究这书，等你把这书里的全部东西都吃透了，你还可以说话。”

因此，在每一堂物理课上，对帕斯卡定律是怎么个事情，或者无论他们在干什么，我一概漠不关心。我在后头捧着这本《高等微积分学》，伍德斯（Woods）写的。贝德知道我多少研究过《实干家的微积分》这本书，所以他把真正的著作给了我——那是大学低年级或高年级上课用的。里头有傅立叶级数、贝塞耳函数、行列式、椭圆函数——都是我不知道的一些好玩儿的东西。

这书也让我明白，怎么对积分符号内的参数求微分。后来我知道，大学里教这个东西教得不多；他们不重视这个。但我明白怎么用这个方

法，而且我是翻来覆去地用这该死的方法。因此，因为我是自己学会了使用那本书，我也有自己独特的方法来解决积分问题。

结果是，麻省理工学院或者普林斯顿大学的那帮家伙在做某个积分题遇到了麻烦，那是因为他们不会用在中学学到的标准方法来解决问题。如果那应该用路径积分法，他们本该看得出来；如果那是一个简单的级数展开，他们本该看得出来。然后，我过来了，打算在积分符号内取微分，而这经常管用。因此，我做积分出了名，这仅仅是因为我的工具箱跟别人的不同；他们在试过了自己的全部工具之后，把问题给了我。

测心术

我爸爸一直对魔术和狂欢节上演的那些把戏感兴趣，想知道那是怎么弄的。他知道的一件事，是测心术。在他还是小孩的时候，是在长岛（Long Island）中间的一个叫帕查崮（Patchogue）的小镇子上长大的。到处都是海报，说下个星期三，有个测心术的要来。海报上说，几个有名望的市民——市长、一个法官，还有一个银行家——要把一张五块的票子藏在个什么地方。等那个测心术的一来，就能找到它。

他来的时候，大家都围拢过来，看他显本事。他一只手拉着法官，一只手拉着银行家，票子就是他俩藏的，开始沿着街道走下来。他到了一个十字路口，转过街角，走到了另一条街上，然后又走到另一条街上，进了该进的那个房子里。他是跟他俩一道儿走的，总拉着他俩的手，进了房子，上了二楼，进了那个该进的房间，走到一张办公桌前，撒开那两位的手，拉开该开的抽屉，五块的票子果然在此。神哈！

那年头，要受到好的教育，难了；因此，这个测心术士就被雇来当我爸爸的私塾先生。有一次下课的时候，我爸爸就问他，没人告诉他钱

在哪儿，他是怎么把钱找到的。

测心术士是这么解释的：你拉着他们两人的手，松松垮垮地拉着，你走的时候，轻轻摇晃着。你到了个十字路口，你往哪儿去，往左，还是往右。你往左稍微那么一摇晃，如果不对，你能感觉出那么一点儿抵触，因为他们没想到你会去那边儿。但是，当你往正确的方向上走的时候，因为他们认为你或许真能知道该往哪儿走，他们比较会顺水推舟，没什么抵触。因此，你必须总是稍微那么摇晃着点儿，试探着往哪边儿走看来最少抵触。

我爸爸把这故事讲给我听了，他说那还是需要不少的练习。他自己从来也没试过。

后来，我在普林斯顿大学读研究生，有个伙计名叫比尔·伍德沃德（Bill Woodward），我决定拿他来试试。我突然宣布我会测心术，能猜透他的心思。我告诉他到那个“实验室”里——一大间房子，里头有好几排桌子，桌子上满是各种各样的设备、电路、工具，到处都是垃圾——在什么地方，挑出一件什么东西，再出来。我跟他解释为什么让他干这个，“现在我测你的心，把你带到那物件那儿”。

他进了实验室，记下了一个特别的东西，然后出来了。我拉着他的手，开始摇晃。我们走过这条走道，再走过另一条，果真就走到了那东西那儿。我们试了三次。其中有一次，我找到了那个东西——它混在一大堆东西中间。另一次，地方我是去对了，但错过那东西才几寸——东西找错了。第三次，不知哪儿出毛病了。但是，总的说来，结果比我原来想的好。很容易的。

那次之后，当时我大约26岁，我爸爸和我去了亚特兰大市。那儿狂欢节在室外变戏法的，五花八门。我爸爸去办什么事儿了，我就去看一个玩测心术的。他坐在台子上，背对观众，穿着长袍，扎着穆斯林的那

种大头巾。他有个助手，一个小个子家伙在观众中间跑来跑去，喊着类似这么一些话，“哦，大师，这个笔记本是什么颜色？”

“蓝色的！”大师说。

“啊，了不起啊先生，那么这位妇女叫什么名字啊？”

“玛丽！”

有个家伙站起来：“我叫什么名字？”

“亨利。”

我站起来说：“我叫什么名字？”

他没回答。那个家伙显然是个托儿，但我琢磨不透这个测心术士是怎么玩的另外一些把戏，像说出笔记本的颜色。他在大头巾下面戴着耳机吗？

在我和我爸爸见面的时候，我把这个告诉了他。他说：“他们设计了一些暗号，但我不知道是什么暗号。咱们回去看个究竟。”

我们回到了那个地方，我爸爸对我说：“这里是五毛钱，你到那边算命摊子上算算命吧，半小时以后见面。”

我知道他要干什么。他要去给那个人讲个故事，要是他儿子不在那儿不停地“嚯！嚯！”，那会顺利些。他不得不把我打发到一边儿去。

他回来的时候，把暗号整个告诉了我：“蓝色是‘哦，大师’，绿色是‘哦，无所不知的人’，如此等等。”他解释说，“我到了他那儿，后来呢，告诉他我以前在帕查崮摆摊儿卖艺，我们也有一套暗号，但算不了那么大的数，能说的颜色也没那么多，我问他，‘你怎么能记得住这么

多东西啊？’”

这位测心术士对自己的暗号很是自豪，坐下来，把他的那一整套对我爸爸一五一十地讲了个透彻。我爸爸就有这个本事，我可不行。

业余科学家

小时候我有一个“实验室”。我说那是个实验室，意思不是说我用它测定什么。我倒拿它来玩儿：我造了一台发电机，造了一个小机器，在什么东西走过光电池的时候，它能转起来。我还拿着硒到处玩儿：我一天到晚东游西荡。我为那个电灯排做了点儿计算，这个电灯排是一串开关和灯泡，我用来当作电阻，好控制电压。但那都是为了某种用处。我从来没做过实验室的那种实验。

我有一架显微镜，爱观察显微镜底下的东西。那是需要耐心的：我会把什么东西放在显微镜下，然后隔一阵子去看一次。跟别人一样，我看到过许多有意思的东西——一个硅藻慢慢地走过玻璃片儿，等等。

有一天我在观察一个草履虫，我看到了我学校里的课本上没讲到的东西——甚至大学的课本也没讲到。那些书总是把事情简化了，好让这个世界更像它们希望的那样：当那些书讲动物的行为时，开头总是这样，“草履虫极其简单；它的行为很简单。当它拖鞋似的在水里动起来的时候，它就转，直到它碰上个什么东西，那时它就蜷缩起来，转开一个角度，然后又开始动”。

这实际上是不对的。首先，人人都知道，草履虫有时互相交配——它们凑在一块儿，交换细胞核。它们怎么决定什么时候做这个？（没关系：那不是我观察到的东西。）

我观察到这些草履虫碰到个什么东西，蜷缩，转过一个角度，然后又走。说它是机械的，像个计算机程序，这想法不对——它看起来不是那样。它们走的距离不同，它们蜷缩的距离不同，它们在各种情况下转过的角度不同；它们不是总朝右转；它们很不规律。它看起来是随机的，那是因为你不知道它碰上了什么东西；你不知道它们闻到了什么化学物质，或者别的什么。

我想观察的事情当中，有一件是在水干掉的时候，它们会怎样。有人声称，草履虫会干得像一粒变硬的种子。我在我的显微镜的载玻片上滴了一滴水，在这滴水中是一个草履虫，还有一些“草”——就与草履虫的比例而言，看起来好像是一堆挑棍儿游戏[24]。随着这滴水的蒸发，这需要15～20分钟，草履虫的处境越来越紧巴：前前后后的动作越来越多，直到它几乎动不得。它被卡在那些“棍儿”中间，几乎黏住了。

接着，我看到了某种以前没看到也没听说的事儿：草履虫失去了它的形状。它能自己伸缩，像个阿米巴虫。它开始把自己朝一根棍儿推去，开始像叉子那样裂开，一直裂到自己身体中间，那个时候它断定那不是个很好的主意，就又撤了回来。

因此，这些动物给我的印象，是它们的行为在书里被简化得过分了。书上说，它们完全是机械的，或者单一的。那些书应该正确描述这些动物的行为。直到我们看到甚至一个单细胞动物的行为有那么多方面，我们是不可能完全理解更复杂的动物的行为的。

我还喜欢观察虫子。大约十三岁的时候，我有一本昆虫书。书上说，蜻蜓无害，不叮人。在我们的邻居中，大家都知道那些“缝衣针儿”，他们都这么叫蜻蜓，叮起人来是很危险的。因此，如果我们在外边什么地方玩棒球什么的，一只这种东西转着圈儿地飞，大家都会跑着藏起来，挥舞着胳膊，大喊大叫：“一个缝衣针儿！一个缝衣针儿！”所以，有一天，我在海滩上，看的正是那本说蜻蜓不叮人的书。一个缝衣

针儿过来了，大家叫着喊着，到处乱跑；我呢，就坐在那儿。“别担心！”我说，“缝衣针儿不叮人！”

这玩意儿落在我脚上。大家都在尖叫，乱成一团，因为这个缝衣针儿坐在我脚上。而我却坐在那儿，这个科学奇观，说它不会叮我。

你拿得准，这故事，到头来会说它叮了我——但它没叮。书上说得对。但我确实出了一点儿汗。

我还有一个小小的便携式显微镜。那是个玩具显微镜，我把目镜摘下来，拿在手里，跟拿着放大镜似的，尽管那是个40或50倍的放大镜。仔细点儿，你就能对准焦距。因此，我能在街上闲逛，一边还看东西。

我在普林斯顿研究生院的时候，有一次我把它从口袋里掏出来，看在常春藤上乱爬的蚂蚁。我不得不叫出声儿来，我太兴奋了。我看到的是一只蚂蚁和一个蚜虫。蚂蚁照顾着蚜虫——如果蚜虫待的那个植物死了，蚂蚁就把它们搬到别的植物上。作为回报，蚂蚁得到了被部分消化过的蚜虫汁儿，叫“蜜露”。我知道这个；我爸爸告诉过我，但我从来没看见过。

因此，这就是那个蚜虫了，而且再真实不过的是，一只蚂蚁过来了，用脚拍拍它——绕着蚜虫转着圈儿地拍、拍、拍、拍、拍。这可是太令人兴奋了！接着，那汁儿就从蚜虫后窍出来了。因为那是放大了的，那汁儿看起来像是一个好大、好漂亮的、闪闪发光的球，跟气球似的，那是因为它表面有张力。因为这个显微镜不怎么好，由于镜片的色差而带上了一点儿颜色——那真是个漂亮的东西啊！

这蚂蚁用两只前脚捧着这个球，从蚜虫那儿举起来，然后抱着它。你可以把水举起来抱着，在这个尺度下看，这世界是如此不同！蚂蚁腿上多半有油性的物质，那样在它抱着水的时候，才不会把水表面戳破。

然后，蚂蚁用嘴把这液滴的表面弄破，表面的张力塌陷了，那水珠儿就进了它肚子里。看到这整个事情这样发生，真是有意思啊！

在普林斯顿我的房间里，我有一个凸窗，窗台是U形的。一天，一些蚂蚁在窗台上，在那里转悠着。我发生了好奇心：它们怎么发现东西？我不明白，它们怎么知道往哪儿去？它们能跟蜜蜂似的相互转告食物在哪儿吗？它们有没有几何感？

这纯属业余：大家都知道这个答案，但我当时不知道这个答案，因此，我做的头一件事儿，是通过凸窗的U形窗台垂下一根线，线上系着一片折叠起来的硬纸板儿，硬纸板儿上有糖。这主意是把糖从蚂蚁那里隔离开，所以它们不会碰巧发现糖。我希望把一切都置于控制之下。

接着，我弄了许多小纸条儿，并且把纸条儿折一下，这样我就能把蚂蚁撮起来，把它们从一个地方摆渡到另一个地方。我把那些带折痕的纸条儿放在了两个地方：一些放在放了糖的纸板儿上（吊在线上呢），另一些纸条放在一个有蚂蚁的地方附近。我在那里坐了一下午，一边看书，一边观察，直到一只蚂蚁碰巧走上了那些小纸渡轮中的一个。然后，我把它送到糖那儿。在几只蚂蚁被摆渡到了糖那儿之后，其中的一只碰巧走到了附近的一个渡轮上，我就把它摆渡回原来的地方。

我想看看，其他的蚂蚁需要多长时间，才能得到去“终点渡口”的信息。开始的时候很慢，但越来越快，最后我发了疯似地来回摆渡这些蚂蚁。

一切都按部就班地进行。正在这个时候，我突然不把蚂蚁摆渡到糖那儿，而是把它们发配到一个不同的地点。现在的问题是：蚂蚁学得会从哪儿来、回哪儿去吗？或者说，它能到它在以前的时间里到过的地方吗？

过了一阵子，实际上没有蚂蚁再到第一个地方了（有糖的那个地方），然而第二个地方那儿有许多蚂蚁，在那儿乱转，想找到糖。因此，到目前我琢磨出了它们确实是从哪儿来，还到哪儿去。

在另外一个实验里，我摆了许许多多显微镜的载玻片，让蚂蚁踩着这些载玻片，熙来攘往地朝我放在窗台上的糖那儿奔。然后，用一个新的载玻片替换一个旧的载玻片，或者把原来那些载玻片重新摆一下，我能以此表明，蚂蚁是没有什么几何感的：它们琢磨不透东西都有个地方。如果它们沿着一条路走到糖那儿，回来的时候有一条更短的路，它们总也琢磨不出有这么一条近便路。

通过重新摆放载玻片，另外一件事儿同样清楚：蚂蚁留下了某种痕迹。因此，我就做了许多容易做的实验，来发现那些痕迹需要多长时间干掉，能不能一擦就擦个干净，等等。我还发现，那些痕迹不能指示方向。如果我把一个蚂蚁撮到一张纸上，然后转啊转啊，再把它放回那痕迹上，它是不会知道自己正在背道而驰的，直到它遇到了另一只蚂蚁才恍然大悟。（后来，在巴西，我注意到某种切叶蚁，就拿它们做同样的实验。走不几步，它们就说得上来自己是朝着食物走，还是南辕北辙——这想必是根据痕迹判断出来的，这个痕迹或许是一个气味儿序列：A, B，空格儿；A, B，空格儿，如此等等。）

我一度想让蚂蚁走圈儿，但我没有足够的耐心来设计这事儿。除了缺乏耐心之外，我看不出这事儿办不到。

有一件事儿确实能把实验弄麻烦了，就是，你喘气喷在蚂蚁身上，会让它们慌不择路。那一定是个本能的事儿，好防着那些吃它们、骚扰它们的动物。是我呼吸的温度、湿度，还是气味儿打扰它们，这个我不知道；但我在摆渡蚂蚁的时候，总是憋着气，把头转到一边儿看，免得把实验搞乱了。

我迷惑不解的一个问题是，为什么蚂蚁痕迹看起来那么直、那么整齐。蚂蚁好像知道自己在干什么似的，好像有很好的几何感似的。然而，我做的实验，却意在表明它们的几何感是不管用的。

许多年后，我在加州理工学院，住在林阴街（Alameda Street）的一所小房子里，一些蚂蚁在澡盆上乱爬。我想："机会难得。"我把糖放在澡盆的另一边儿，在那儿坐了一下午，才有一只蚂蚁终于发现了糖。这仅仅是一个有没有耐心的问题。

蚂蚁一发现糖，我就拿起早就准备好的彩色铅笔（我以前做过的实验，表明蚂蚁对铅笔画的道道儿并不反感——它们就在铅笔道道儿上走——所以我知道我没弄乱任何东西），蚂蚁在前头走，我就在它后头画线，这样我就说得上来它的痕迹在哪儿。这蚂蚁走了一些冤枉路，这才回到洞里，因此我画的线就七扭八拐的，不像常见的蚂蚁痕迹。

当第二只蚂蚁找到糖并且开始往回奔的时候，我用另一种颜色的铅笔画它的痕迹。（顺便说一句，它是循着第一只蚂蚁的返程痕迹走的，而不是循着它自己的来路。我的理论是，当一只蚂蚁发现了食物的时候，它留下的痕迹，要比它仅仅是瞎转悠时留下的痕迹强烈得多。）

这第二只蚂蚁急匆匆的，在很大程度上循着本来的痕迹。因为它走得太快，走得很率直，好像是顺坡儿下路似的，哪管早先的痕迹七扭八拐。经常地，在这只蚂蚁"顺坡下路"的时候，它是会再次发现痕迹的。已经清楚的是，这第二只蚂蚁的返程稍微直一些。更多的蚂蚁，急匆匆地，漫不经心地"循路前进"，对这痕迹的同样的"改进"就发生了。

我在8～10只蚂蚁的后头用铅笔画线，最后沿着澡盆边儿画成了一条整齐的线。这跟画素描似的：你先画一条毛毛糙糙的线；然后你描啊描啊，过一阵子，它就成了一条整整齐齐的线。

我记得小时候我爸爸就告诉我，蚂蚁是多么神妙，它们是怎么合作的。我仔细观察过三四只蚂蚁把一小块巧克力往窝里搬。乍一看，那种合作好像颇为高效、奇妙而令人称道。但是，如果看得仔细些，你会看到全然不是这么回事儿：它们那做派，就好像巧克力不在自己人手里似的。它们朝这边儿拉，向那边儿拽。晃荡，踌躇，方向全乱了套。巧克力呢，并没沿着一条近便的路向窝那边儿移动。

巴西的切叶蚁却非常不可思议，它们有一种怪有意思的蠢劲儿，我很惊讶这种蠢劲儿为什么没进化好。这种蚂蚁要花费相当的工夫，才能切一道圆弧，为的是切下一块叶子。切割工作完成之后，蚂蚁有五成机会去拖没被切掉的一边，无可奈何地看着刚刚切好的叶块掉在了地上。有一半的时间，蚂蚁是在叶子没被切掉的一边拽啊拉啊拽啊拉啊，最后作罢了，开始去另外切一块。没有一只蚂蚁打算去拿早先切好的叶块，别的蚂蚁也不去拣别人切掉的叶块。因此，事情很明显，如果你看得仔细的话，切割，然后把叶块搬走，这活儿做得不地道；它们走到叶子那儿去，切一个弧线，一半时候是拖错误的一边，本该拖的叶块，掉下去了。

在普林斯顿大学，蚂蚁发现了我的食品柜。里头放着我的果酱、面包和菜什么的。这柜子离窗户距离相当远。一长串儿蚂蚁，横穿客厅的地板，兼程行军。那时我正在做关于蚂蚁的这些实验，因此我心里想："我怎么才能阻止它们到我的柜子那儿去，却不杀死任何蚂蚁？不准放毒；你对蚂蚁也得讲人道不是！"

我的搞法是这样：在准备阶段，我把一丁点儿糖放在它们进入这房间后六七寸的地方，这个它们不知道。然后呢，我又干起了摆渡的营生，每当有一只蚂蚁带着吃的往回赶却误上了我的渡船的时候，我就带它一程，把它放到糖上。任何往我的柜子那儿去却误上了渡船的蚂蚁，我也把它带到糖那儿。最后，蚂蚁们发现了从糖到窝的道儿，因此这条

新痕迹得到了双倍的强化；老痕迹呢，越来越没人用了。我知道，半小时之后，老痕迹就干了，一小时之内，它们就离开我的食品柜。我没洗地板；除了摆渡蚂蚁，我什么也没做。

第3部分　费曼，炸弹和军队

嘶嘶的信管

战争在欧洲开始了，美国还没宣战，那时就起了许多议论，说是要准备打仗，要爱国。报纸上有大块儿的文章，说商人们自告奋勇，到了纽约州东北的普拉茨堡（Plattsburg），去接受军事训练什么的。

我开始想了，我也该做点儿什么贡献啊。我在麻省理工学院完成了学业之后，我兄弟会里的一个朋友，在“陆军信号团”的毛里斯·迈耶（Maurice Meyer），就带我去见在纽约的信号团部的那位团长。

“长官，我愿意为国家出力，因为我有技术头脑，或许有我帮得上忙的地方。”

“那个，你最好直接去普拉茨堡的新兵营，去接受基本训练，然后呢，我们才能用你。”团长说。

“可是，有没有什么更直接的法子，来用用我的本事啊？”

“没有；军队嘛，就是这么组织的。按部就班地来吧。”

我到了外边儿，坐在公园里想这事儿。我想啊想啊：做贡献的最好办法，或许还是得按照他们的路子来。可是，幸运的是，我又动了点儿脑子，说：“见它的鬼去！我还是等等吧。或许会发生点什么事儿，到时候他们就能更有效地用我。”

我到普林斯顿读研究生去，春天的时候，我又去了趟在纽约的贝尔

实验室，想为暑假找份工作。我喜欢到贝尔实验室去。比尔·肖克利，就是发明晶体管的那家伙，带我到处看。我记得有个人的房间，他们在那窗玻璃上画了些道道：乔治·华盛顿大桥正在施工，那些家伙在实验室里看它。在主钢缆吊起来的时候，他们把主钢缆的曲线描在了窗玻璃上；到大桥悬挂在主钢缆上的时候，它就变成了一条抛物线，他们就能测量出一些小小的变化。这种事儿，就是我想干的。真羡慕这帮家伙；我总在希望，有朝一日能和他们一道干活儿。

实验室的几个家伙，把我弄到一个海鲜馆吃午饭。有牡蛎，大家都眉开眼笑。我住在海边，可这种东西，我都懒得睁眼看；我不吃鱼；牡蛎，更甭提了。

我心里说："我得勇敢点儿。我一定得吃个牡蛎。"

我吃了一个牡蛎，这东西绝对恐怖。但我对自己说："这并不足以证明你是条汉子。你原本并不知道它有多么恐怖。在它是什么味儿还不清楚的时候，吃它就不算是顶难的事儿。"

别人一直在吵吵牡蛎有多么美，我于是又吃了一个，实在比第一个更难以下咽。

这次，一定是我第四或第五次到贝尔实验室来，他们接纳了我。我非常高兴。那年头，要找到个工作，和别的科学家在一块儿，难了。

但是，那时普林斯顿大学，有个激动人心的大事。从军队来的特雷彻尔（Trichel）将军，给我们讲话："我们一定要有物理学家！物理学家，对我们这些在军队里的人来说，是很重要的！我们需要三个物理学家！"

你一定得明白，那年头，大家不怎么知道物理学家是个什么东西。比方说，爱因斯坦以数学家知名——有人需要物理学家，这事儿透着稀

奇。我想：“这是我做贡献的机会啊。”我就志愿去为军队工作了。

我问了贝尔实验室，他们让不让我在夏天为军队工作，他们说，他们也有战时的工作，何必舍近求远。但我被爱国狂热冲昏了头，失去了这个好机会。在贝尔实验室工作，那要聪明得多。但人在那个时候，都有点儿傻。

我去了位于费城的法兰克福兵工厂（Frankford Arsenal），在一头恐龙身上工作：那是一台用来为炮兵定向的机械计算机。每当有一群飞机飞过，炮手会用望远镜观察，这个机械计算机，装着些齿轮和凸轮什么的，能预言飞机会往哪儿飞。这机器的设计和建造，都是顶漂亮的。其中重要的主意之一，是非圆齿轮——齿轮不是圆的，但无论如何还能互相啮合。因为齿轮的半径是变的，所以一个轴转，就能对另一个轴产生作用。然而，这机器已经英雄迟暮了，那之后不久，电子计算机应运而生。

物理学家对军队有多么重要，说了这么一通之后，他们让我干的头一件事儿，是检查齿轮的设计图，看看数据对不对。这事儿做了好长时间。后来，渐渐地，负责这个部门的那家伙，看出我在别的事儿上能派上用场。随着夏天一天一天地过去，他跟我讨论事儿的时间越来越多。

法兰克福兵工厂有个机械工程师，老想设计个什么玩意儿，可是怎么也不能把事儿弄停当。有一次，他设计了一个满是齿轮的盒子，其中有一个直径20厘米的大齿轮，有六根轮柄。这伙计兴高采烈地说：“好了，老板，怎么样？怎么样？”

“蛮不错的！”老板回答，“你们该做的，是确定每条轮柄的过轴器，好让这齿轮转得起来！”这家伙设计的过轴器，却刚好卡在两个轮柄中间！

老板继续告诉我们，真有过轴器这么个东西（我还以为他一直在开玩笑呢）。在战争期间，德国人在水下一定深度弄了缆绳，上面挂着水雷；为了不让英国的扫雷艇扫到这个缆绳，德国人发明了这个东西。用这些过轴器，德国缆绳允许英国的缆绳滑过去，跟走过了一道旋转门儿似的。因此，在每个轮柄上装上过轴器，是可能的，但老板的意思，并不是让机工去弄得那么麻烦；那家伙倒是应该重新设计一下，把轴挪一挪。

军队时不时地派个中尉来检查事儿搞得怎么样。我们老板说，我们这是个民营单位，那个中尉比我们任何人地位都高。“什么事儿，也别告诉中尉，”他说，“一旦他明白我们在干什么，就会发号施令，把事情搞乱。”

那时我正在设计一些东西，中尉从旁边走过的时候，我就假装我不明白我在做什么，我只是听人家吩咐而已。

“你在这儿干什么，费曼先生？”

“那个，我在以一些连续角度画一组直线，然后，人家让我照着这个表格，来测量到中心点的不同距离，然后再把……”

“好了，那是什么啊？”

“我猜是个凸轮。”实际上那东西是我设计的，但我演得就好像我是在亦步亦趋地按照别人的吩咐做活儿。

中尉在任何人那里都得不到信息，我们倒逍遥自在，用这台机械计算机工作，没有遇到任何干涉。

一天，中尉走过来，问了我们一个简单的问题：“假定观察员和炮手不在同一个位置——你们怎么处理这个事儿？”

我们吓了一跳。我们用的是极坐标，是用角度和半径距离，来设计这整个东西的。用X、Y坐标，对在别处的观察员来说，是容易矫正错误的。那仅仅是个加减法的问题。但是用极坐标的话，那就一团乱麻了！

这个中尉，我们一直什么也不告诉他；可到头来，是他告诉了我们一件重要的事，我们在设计这个设备的时候，给忘了：炮和观察站有可能不在同一个地方啊！改正这个，费了老劲。

到夏末，我得到了我第一个真正的设计工作：英国有了一项新发明，叫“雷达”，用来追踪飞机。它每15秒出来一个点儿。我得设计一台会把一组点儿连成一条连续曲线的机器。那是我第一次设计机器，所以我有点儿害怕。

我去找另外那些家伙中的一个，说：“你是个机械工程师；怎么搞机械工程，我不懂，我刚接了这个活儿……”

“那没什么，”他说，“瞧，让我弄给你看。设计这些机器，有两个原则，你得知道。第一，每个轴承上的摩擦力是多少多少，以及每个齿轮接合处的摩擦力是多少多少。有了这个，你算得出来，你需要多大力量来驱动这玩意儿。第二，你有了齿轮齿数比，比方说2比1，你就琢磨了，是弄成10齿对5齿、24齿对12齿还是48齿对24齿，要决定这事儿，得这么办：你查查《波士顿齿轮目录》，从列表里选你要的齿轮。表上靠高的那一头儿，齿儿太多，难造得很。假如他们能把齿儿造得更精细一些的话，那列表还得更高。在列表低的那头儿，齿轮的齿数太少，很容易断的。因此，最好的设计，是用表中间的那些齿轮。”

我在设计那台机器的时候，得到了不少乐趣。仅仅从列表的中间部分挑选齿轮，再把他给我的那两个数据的转矩加起来，我就是个机械工程师了！

那个夏天之后，军队不想让我回普林斯顿去读学位。他们不停地让我做这种爱国的事儿；如果我愿意留下来，他们会把一个项目整个给我，还让我管理。

这个问题是设计一台机器，像上一台那样——他们称之为指挥家——但这次我觉得这问题容易些，因为炮手将在同一高度咬住另一架飞机。炮手会把他的高度和他到被他咬着的飞机之间的大体距离，弄进我的机器里。我的机器将自动把炮昂到正确的角度，然后点燃信管。

作为这个项目的主任，我要旅行到阿伯丁市（Aberdeen）去拿射表。可是，他们已经有了一些初步的数据。我注意到，在飞机会飞到的比较高的高度上，大多数没有什么数据。于是我打电话想搞清楚为什么没有数据，原来他们用的信管不是定时信管，而是在那样的高度不管用的导火线信管——在稀薄的空气里，嘶地一声就灭了。

我想，我只好矫正一番，以适应不同高度的空气阻力。可我的工作是发明一种机器，让炮弹在该爆炸的时候爆炸，而那时信管是不着的！

我断定这事儿对我太难了，于是我回了普林斯顿大学。

考验猎犬

我在洛斯阿拉莫斯的时候，有点儿闲工夫，经常坐几小时的车，去看在阿尔伯克基（Albuquerque）住院的妻子阿琳（Arlene）。有一次我去看她，不能马上进病房，于是我就到医院图书馆看书。

在《科学》（Science）杂志上，我读到一篇关于猎犬的文章，说它们的嗅觉如何了得。作者说了他们做得好几个实验——猎犬能确定哪些物件被人动过，等等——我开始想：闻东西，猎犬确实是非同凡响，能

追踪人留下的气味儿，诸如此类；可是，我们到底怎么样？

到可以看我妻子的时候，我就去看她了，说：“我们做个实验。那里的那些可乐瓶子（她积了六捆空可乐瓶子，好一起送出去）。你好几天没动它们了，对吧？”

“对啊。”

我把六捆瓶子拿到她那儿，手没碰瓶子，说：“好了。我现在出去，你拿一只瓶子，在手里摩挲大约两分钟，然后放回去。然后，我回来，看能不能说得上来是哪只瓶子。”

于是我就出去了，她拿起一只瓶子，摩挲了好长时间，因为我可不是猎狗啊！照那文章上的说法，你就触摸一下，猎狗也嗅得出来。

然后，我回来了，绝对明显！我甚至不必闻那破玩意儿，因为温度当然就不同。气味儿也很明显。你一把它凑近你脸边，你就闻得出来它潮乎乎的，热乎乎的。因此，那个实验不算数儿，因为太明显了。

然后，我看了看书架，说：“那些书，你有日子没看了，是不是？这次，我出去的时候，你从架子上拿一本书，就那么一翻——别再干别的——再合上，放回去。”

我又出去了，她拿了一本书，翻开，合上，放回原处。我进来了——这也没什么！容易。你只要闻闻那些书就行了。这很难解释，因为我们通常不谈论这个。你把每本书凑近鼻子，嗅几次，你就认得出来。那是很不同的。一本书，在那里放了一阵子，有一种干燥无趣的味儿。但是有一只手动过它，就有湿度，就有一种明显的气味儿。

我们又另外做了几个实验，我发现，猎犬确实是能耐不小，可人类也不像自己想的那样无能：只是人的鼻子离地面太高罢了！

（我注意到，我的狗闻闻我的脚印，就能正确地认出我在家里走的路线，特别是在我赤脚的时候。因此，我也想试试这个：我手脚并用，在地上爬，一边还嗅着，想看看我能不能认得我走过的和没走过的地方有什么不同，而我发现不可能。因此，狗比我强得多。）

许多年后，在我初入加州理工学院的时候，在巴舍尔（Bacher）教授家里有个聚会，加州理工学院的许多人都在那儿。我不知道怎么提到了这事儿，但是我把闻瓶子、嗅书的故事告诉了他们。自然，他们一个字儿也不相信，因为他们总以为我弄虚作假。我就不得不演示一番了。

我们小心地从架子上取下八九本书，没直接用手动，然后我出去了。三个不同的人动了三本不同的书：他们各自拿起一本书，打开，合上，放回去。

然后，我回来了，闻闻每个人的手，然后把那几书都闻遍了——我忘记先闻的是哪一本——丝毫不差地找到了那三本书；但把一个人认错了。

他们仍然不相信我；他们以为我在变什么戏法。他们不停地琢磨我是怎么弄的。这种把戏人尽皆知，人群里有个托儿，给你发暗号儿，他们都在琢磨谁是托儿。从那以后，我经常想，这倒是一个不错的牌戏：拿一副纸牌，让一个人抽出一张，再放回去，而我在另一个房间里。你说："我会告诉你，你抽的是哪一张，因为我是一只猎犬：我要把每一张牌都嗅一嗅，然后告诉你抽的是哪一张。"当然，你这么喋喋不休的，大家就一时不会相信你实际上做的那件事！

人的手，其味殊异——所以狗能辨人；你可得试试！全部的手，都有一种潮乎乎的味儿。一个烟民的手，其味儿大不同于不抽烟的。女士所用的香水常常不同，诸如此类。如果有人碰巧口袋里装着硬币，碰巧他在口袋里玩弄那些硬币，你也闻得到。

从低处看洛斯阿拉莫斯[25]

当我说“从低处看洛斯阿拉莫斯”的时候，我是实话实说。在目前，在我的专业领域里，尽管我是个有点儿名气的人，可在当时，我完全不是个有名气的人。我开始参加“曼哈顿计划”的时候，甚至连个学位也没有。对你讲洛斯阿拉莫斯的故事的许多人——那些高高在上的人——对某些军国大计都忧心忡忡。没什么军国大计让我忧心忡忡。我总在下层扑腾。

有一天，我在普林斯顿大学我的房间里工作，鲍勃·威尔逊（Bob Wilson）进来了，说他已经得到资金，要做一项秘密工作。他本不该对任何人提起这个，但他要告诉我，因为他知道，一旦我知道他要干的是什么，我就会明白我非得入伙儿不可。因此，他告诉我，把铀的几种同位素分离开，最终为了造一个炸弹。他有一种办法，可以把铀的同位素分离开（和最终用来造炸弹的那一种不同），他想发展这种方法。他把这个告诉了我，说：“有个会……”

我说，我不想干这个。

他说：“那好吧，三点有个会。会上见。”

我说：“你把这个秘密告诉了我，没关系，因为我不会告诉任何人，但我不干。”

因此我就回头去忙我的学位论文了——忙了大约3分钟。然后，我在地板上来回踱步，想这事儿。德国人有希特勒，他发展原子弹的可能性是明摆着的。他们在我们之前发展起这东西，这种可能性是非常可怕的。因此，我决定三点去开会。

到四点，我已经在一个屋子里伏案工作了。我在忙着计算，看这个

特别的办法，是不是会受到从离子束中得到的电流总量的牵制，等等。我就不说得过细了。但我得在那儿工作，我得写论文。我尽可能卖力地工作，尽可能快地工作，好让那些在那儿建造设备的人马上进行实验。

这像是那种电影，你看到一台设备在“嘟、嘟、嘟”地响。我每次去看这设备，它就变大了些。当然，实际上发生的事情，是所有的伙计都决定为此工作，都把他们的科研停了下来。在战争期间，全部的科研工作都停了，除了洛斯阿拉莫斯做的这一小块儿。这也不算什么科学；在很大程度上，它属于工程。

来自各种科研项目的全部设备，都凑一块儿，弄成了这么一个新设备，好做实验——分离铀的同位素。出于同样的原因，我也把自己的工作停了，尽管过了一阵子之后，我确实休了6个星期的假，把学位论文写完了，刚好在到洛斯阿拉莫斯之前，拿到了学位——因此，我的地位并不像我让你相信的那样，低到那么个程度。

我在普林斯顿见到了许多大人物，这是我参加这个项目较早时候的有趣经历之一。我以前没见过几个大人物。但是，有个评估委员会，不得不一直帮我们的忙，并且帮我们在最后决定我们将用什么办法来分离铀的同位素。这个委员会有像康普顿[26]、塔尔曼（Tolman）、史密斯（Smyth）、尤里[27]、拉比[28]、奥本海默[29]这些人。我参加这个委员会，是因为我懂分离铀同位素的方法的理论，因此他们要问我问题，跟我讨论。在这样的讨论中，一个人先提出一个论点。然后，比方说，康普顿会解释一个不同的论点。他会说，那个事儿会是这个样子，而他完全对。另一个家伙会说，那好，也许吧，但存在另一种与它相左的可能性，我们不得不加以考虑。

因此，满桌子的人，意见不一，众说纷纭。康普顿不重复也不强调自己的论点，这叫我既吃惊，又不安。最后，塔尔曼，他是主席，会说：“好了，听了这么多论点，我猜康普顿的论点是最好的，现在我们

必须开始干了。”

委员们可以提出一大堆想法，每个人都考虑到了一个新的方面，还得记住别的伙计们说的是什么，因此，到最后，决定是根据最好的看法做出的——把一切做了归纳——不需要说上三遍。看到这么个搞法，我深受震撼。这些人真是非常了不起。

最终的决定是：他们将用来分离铀的计划，不是这个计划。有人告诉我们，我们将停下来，因为，在新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯，他们将启动一个真正用来制造那种炸弹的计划。将会有一些我们必须做的实验，也有理论上的工作要做。我做的是理论工作。其他伙计都做实验工作。

问题是——现在干什么？洛斯阿拉莫斯还没准备好。鲍勃·威尔逊想利用这段时间，除了其他的事情要办之外，派我到芝加哥去发现和这炸弹有关的任何东西和问题。接下来，在我们的实验室里，我们开始制造仪器、各种各样的计算器等东西。等我们到了洛斯阿拉莫斯，这些东西都会用得上。没时间可浪费了。

我受命到了芝加哥，到各个研究单位，告诉他们我会跟他们一起工作，让他们足够细致地为我解释某个问题，那样我才能真正坐下来开始解决这个问题。一到这个程度，我就去找另一个家伙，问另一个问题。这样我就理解了一切事情的细节。

这是个很好的主意，但我有点儿歉疚，因为他们都要卖力气为我解释事情，而我拍拍屁股就走了，也不帮他们一把。但我很幸运。有个家伙对我解释一个问题的时候，我说：“你为什么不在积分符号内取微分？”半小时后，他就把这问题解决了，而他们已经为此忙活了3个月。因此，利用我的“与众不同的工具箱”，我也做了一点事儿。然后，我从芝加哥返回，把情况交代了一番——释放出来的能量有多大，这炸弹会

是什么样子，等等。

我记得和我一起工作的一个朋友，保罗·奥拉姆（Paul Olum），一个数学家，事后过来对我说："等人家为这事儿拍部电影的时候，他们会让那个从芝加哥回来的家伙，为普林斯顿那儿的人做一场关于这个炸弹的报告。他会穿一身西服，夹着公文包，如此这般——可现在，你袖子脏乎乎的，就跟我们讲这件惊天动地的事儿。"

似乎还得拖延，威尔逊赶到洛斯阿拉莫斯，看看到底什么事情扯了后腿。等他到了那儿，他发现，建筑公司很卖力气，剧院盖好了，几个他们明白的建筑也盖好了；可是，怎么盖实验室——需要几条煤气管道，供水量是多少，他们还没得到明确指示。威尔逊腾地一下就站起来了，当即告诉他们多少水、多少煤气等事情，告诉他们开始建造实验室。

等他回到我们这儿，大家都跃跃欲试，急不可待了。因此，他们都凑在了一起，决定我们无论如何该出发了，尽管那儿还没准备好。

顺便说一句，我们都是奥本海默和其他几个人招到这儿的。他可真沉得住气。每个人的困难，他都看在眼里。他为我妻子担心，她得了肺结核，那儿有没有医院，有没有这个那个。我这么亲密地跟他接触，这是第一次，他是个好人。

我们奉命要小心行事——比方说，不要在普林斯顿买火车票，因为普林斯顿是个小站，如果大家都在普林斯顿买票到新墨西哥州的阿尔伯克基，有人就会猜疑，有大事儿了。因此，大家都是从别的地方买的票，只有我是个例外，因为我琢磨着，如果人人都在别的地方买票……

因此，到了火车站，我说："我要到新墨西哥州的阿尔伯克基。"那人说："哦，这么说，那么多东西，全都是给你准备的！"成箱成箱的仪

器，我们已经托运了好几个星期，没指望他们会注意地址是阿尔伯克基。因此，我至少得解释我们为什么要托运那些箱子；是我要去阿尔伯克基啊。

好了，我们到的时候，房子、宿舍什么的，还没准备好。实际上，连实验室也差得远。我们提前来，是催他们。因此，他们急成了热锅上的蚂蚁，把附近农场的房子都租了下来。我们先是待在一所农场的房子里，早晨开车去基地。第一个早晨，我开车的时候，印象太深刻了。美丽的景色，对一个不怎么旅行的东边人来说，真是大饱眼福啊。那儿有你或许在画里才能看到的万丈悬崖。你是从下边开车上来的，可在山顶的平地上极目四望，真令人瞠目结舌。在我往上走的时候，给我印象最深刻的东西，我说，印第安人或许在那儿住过，开车的伙计把车停了，走过拐弯，指给我看你能看到的印第安人的一些洞穴。真令人兴奋。

等我第一次到了目的地，我看到有个技术区，那最后是应该用围栏围起来的，但仍然敞着。还应该有一个小镇子，也就得有大围栏把镇子围起来。但是，他们现在还在建造呢，我朋友保罗·奥拉姆，他是我的助手，手里拿着个写字夹板，站在门口，对出入的卡车进行检查，告诉他们该往哪边去，把材料卸在不同的地方。

走进实验室的时候，我见到了一些人，我在《物理评论》上看过他们的文章，那时是只闻其名，未见其人。“这是约翰·威廉姆斯（John Williams）。”他们说。其时有个家伙从铺着图纸的桌子后面站起来，挽着袖子，朝窗外喊，命令卡车和东西跟着建筑材料往不同的地方去。换句话说，在建筑和设备准备停当之前，实验物理学家无事可做，于是他们就去盖房子，或者到建筑工地上当小工。

另一方面，理论物理学家，可以马上开始工作，因此事情决定了，他们不住在农舍里，而住在基地。我们当即开始工作。没有黑板，只有一个带轮子的黑板。当我们推着这个带轮子的黑板到处走的时候，罗伯

特·瑟伯（Robert Serber）就告诉我们他们在加利福尼亚大学伯克利分校（Berkeley）对原子弹、核物理这类事情所做的思考。我对这些东西，知道得不很多；我以前干的是别的。因此，我要做的事情，太多。

我每天都研究、阅读、研究、阅读。那时流行肺结核。可我有点儿运气。全部的大腕儿，碰巧在那个时候都离开了，除了汉斯·贝特[30]。贝特需要个人跟他谈话，跟他唱唱对台戏。好了，他到办公室找到了我这个小碎嘴子，开始论证，解释他的看法。我说："不，不，不，你发疯啊。它是这么弄的。"他说："稍等。"解释为什么说他没疯，我疯了。我们就这么不停地吵吵。你瞧，我听到有人讲物理，我满脑子全是物理，我忘记我在跟谁讲话，所以我就说些傻话："不，不，不，你错了"或者"你疯了"之类。但结果证明，那正是他需要的。由于这个，我倒升了一级，在贝特手下当了个小组长，管着四个家伙。

当我第一次到那儿的时候，我已经说过，宿舍还没准备好。但理论物理学家无论如何必须待在那儿。他们先是把我们扔到了一所老旧的学校建筑里——有个小伙子以前在那儿上学。我住在一座名叫"力学山居"的什么玩意儿里边。我们全挤在那里的双层床上，而且那儿不那么有秩序，罗伯特·克里斯蒂（Robert Christy）跟他老婆到浴室，必得经过我们的房间。因此，很不舒服。

宿舍终于盖好了。我就到分派房间的那地方，他们说，你可以挑房子了。你知道我怎么办的？我在看女孩儿们的宿舍在哪儿，然后我挑了一间正对着她们宿舍的房间——尽管我后来才发现，那个房间的窗户前边，正好有一棵大树。

他们告诉我，一个房间住两人，但那仅仅是暂时的。每两个房间共用一个洗澡间，每个房间有一张双层床。但我不想两人住一个房间。

我住在那儿的那天晚上，没别人，我就企图把这个房间据为己有。

我妻子在阿尔伯克基患着肺结核，但我有她的几箱子东西。于是我把一件小睡裙拿出来，把上床的被子扯开，把小睡裙漫不经心地放在那儿。我还拿出几双拖鞋，在洗澡间地上撒了一些扑面粉儿。我就是要弄得好像那儿有别人住似的。结果怎么样？哈，那本该是男宿舍，明白吧？因此，那天晚上我回来的时候，我的睡衣叠得好好的，放在枕头下，拖鞋整整齐齐地放在床下。女睡裙叠得好好的，放在枕头下，床都拾掇好了，整理好了，拖鞋放得整整齐齐。洗澡间地板上的扑面粉儿擦干净了，没人在上床上睡。

第二天晚上，照旧。起床的时候，我把上床弄乱，把睡衣邋里邋遢地扔在上面，在洗澡间撒了扑面粉儿，等等。我这么折腾了四个晚上，大家也都搬过来住了，没有往这房间再塞进一个人的危险了。每天晚上，每件东西都整理得整整齐齐，尽管这是一个男人的宿舍。

我当时不知道，这个小小的诡计把我卷进了政治。那儿有各种各样的小帮派，这是当然的——家庭妇女帮，机修工帮，技术人员帮，如此等等。好了，住在这宿舍的单身汉和单身女，觉得他们也得有个帮，因为公布了一条新规定："妇女不得留宿男宿舍。"哈，这绝对是荒唐嘛！毕竟，咱都是成年人！这是扯的什么淡啊？我们一定要采取政治行动。于是我们对这事儿进行了辩论，大家推举我，在镇议会里做住宿舍的这些人的代表。

到我来这里大约一年半，我对汉斯·贝特谈了点事儿。他一直在这个大议会里担当职务，我把我用我妻子的睡裙和拖鞋玩儿的那套把戏告诉了他。他哈哈大笑，"原来你是这么混到镇议会里的。"

事儿得从头说起。有个女人在宿舍里打扫卫生，一不留神，出了个麻烦：有个女的在跟一个男人睡觉！她把这事儿向女工长打了报告，女工长又向中尉打了报告，中尉又向少校打了报告。就这么逐级上报，报告通过将军们，一直到了管理委员会那儿。

他们要干什么？他们会考虑这事儿，还能怎样！可是，与此同时，有指示通过总指挥，下达到少校，下达到中尉，下达到工长，下达到女工长。什么指示呢？“不要打草惊蛇，一切都照原样儿，把卫生收拾干净，静观其变。”第二天，还是同样的报告。过了四天，他们着急了，不知所措了。最后，他们宣布了一条规定：“妇女不得留宿男宿舍！”这使得下面的人大发牢骚，他们不得不推举一个人做代表……

我愿意告诉你一点儿关于那里的检查制度的事儿。他们决定做某种全然违法的事情，对美国人民的信件进行检查——他们是没权力这么办的。事情非常敏感，要立规矩，那也得出于自愿。大家往外发信的时候，都主动不把信封糊上；他们也可以随便检查发给我们的信。我们让信封敞着，如果信OK，他们就把信封糊上。如果在他们看来信不OK，他们就把信退给我们，还别上个纸条儿，说，根据我们的“谅解”，信里有一段违反了什么什么。

就这么着，在这些特别在乎思想自由的科学家中间，检查制度终于建立起来了，条条杠杠多的是。我们可以对这种管理特色发表评论，因此我们也可以写信给我们的参议员，告诉他我们不喜欢这么个搞法。他们说，如果有什么不妥，他们会通知我们的。

规矩立起来了，检查制度执行的第一天到了：电话！丁零零零零！

我问：“什么事儿？”

“请过来一下儿。”

我过来了。

“这是什么？”

“家父书信。”

“那，这是什么？”

那是张印了横线的信纸，横线是小点点儿组成的——四个点儿在下头、一个点儿在上头、两个点儿在下头、一个点儿在上头，点儿在点儿下头——

“这是什么？”

我说：“密码。”

他们说：“是啊，是密码，可它说的是什么？”

我说：“我不知道它说的是什么。”

他们说：“那好，解码表呢？你怎么翻它？”

我说：“哈，我不知道。”

他们说：“这是什么？”

我说，“拙荆来函——它说TJXYWZ TW1X3。”

“那是什么。”

我说：“另一套密码。”

“解码表呢？”

“我不知道。”

他们说：“你收到了密码，却不知道解码表？”

我说：“正是如此。我做了个游戏。我向他们挑战，任由他们给我

发来什么密码，我都能破译，明白吧？所以呢，他们就在那边儿造密码，把密码发到这儿来，他们可不会把解码表告诉我。”

检查制度里有一条：要是你在信里写些一般的东西，他们一点儿也不会找你麻烦。因此，他们说：“好吧，你一定得告诉他们，请把解码表和密码一块儿寄来。”

我说：“我不想看解码表！”

他们说：“那好，我们会把解码表拿出来。”

于是我们就达成了这么个协议。行不行？没问题。第二天，我收到了我妻子的一封信，信里说：“给你写信可真难，因为我老感觉那个……在我肩膀头上偷看呢。”那个词儿所在的地方，是一片用橡皮擦出来的污迹。

我因此到局子里去了一趟，我说：“要是你们不喜欢这信，你们也不该在信上动手动脚啊。你们可以看，但你们不该把信上的什么东西弄没了。”

他们说：“不要无理取闹。你以为那是检查官的工作方式——用橡皮擦？他们是用剪刀把东西剪掉啊。”

我说，得。于是我给我妻子回了封信，说：“你用橡皮擦过你的信吗？”她回信说：“没有啊，我没用橡皮擦过我的信啊，那一定是……”——纸上给剪了个窟窿。

于是我就去找少校大发牢骚，他得负责所有这类事儿。你知道，这得费点时间，但我觉得自己好歹也是个代表啊，是非曲直，得搞明白。上校跟我解释说，那些身为检查官的人，我们教过他们怎么办事，但他们理解不了这种新的工作方式，我们必须非常细致才成。

不管怎么样，他说：“怎么样，你认为我心肠不坏吧？”

我说：“是的，你心肠好得不得了，但我认为你没权力。”因为，你知道，他走马上任干这个工作已经三四天了。

他说：“我倒要看看马王爷长了几只眼！”他抓起电话，一切都摆平了。没人再对信动剪刀了。

然而，还有另外许多麻烦。比方说，有一天我收到了我妻子的一封信，带着检查官的条子：“里面的信是用密码写的，但没有解码表，因此我们把这封信保存在别处。”

那天我到阿尔伯克基去看我妻子的时候，她说：“那，那东西都哪儿去了啊？”

我说：“什么东西啊？”

她说：“一氧化铅，丙三醇，热狗，换洗衣服。”

我说：“稍等——是一个列表？”

她说：“是的。”

“那是密码啊，”我说，“他们都以为那是密码——一氧化铅，丙三醇，等等。”（她要一氧化铅和丙三醇来制造一种黏合剂，好修补她的玛瑙盒子。）

头几个星期，总有这种事儿，然后我们才把事情摆平了。无论如何，有一天我在摆弄计算器，我注意到一件很奇异的事。如果你用1除以243，得数是0.004115226337……这很好玩儿。你要是把小数点后的数一直写下去，那么到559之后，那数就有点儿歪歪扭扭了，但它很快就又整齐了，好好地重复自己。我认为这是个乐事儿。

好吧，我就把这个东西塞在信封里，寄出去，信又回到我这儿。这信没过关，小纸条儿说："看第17条B款。"我看了第17条B款，是这么说的："信件要用英语、俄语、西班牙语、葡萄牙语、拉丁语等语言来写。用任何其他语言来写信，必须得到许可。"然后，它还说："不准用密码。"

于是我就给检查官写了一个小纸条儿，附上我的信，纸条儿说，我觉得这封信当然不可能是密码，因为如果你真的用1除以243，事实上你确实会得出那样的得数，因此，在0.004115226337……这个数中，难得有别的情报。如此等等。我因此就要求允许我在信里使用阿拉伯数字。我因此让那封信通过了。

来往信件总是遇到某种麻烦。比方说，我妻子老是提起她写信时的那种不自在劲儿，好像检查官老隔着她肩膀偷看。现在，作为一条规定，我们不准提检查制度的事儿。我们是不会提这个的，可他们怎么告诉她呢？因此，他们老是给我发条子："你妻子提到了检查制度。"我妻子提到检查制度，那是肯定的。因此，他们最后给我发了个条子，说："请通知你妻子，不要在她的信中提到检查制度。"于是我这么开始写信："我得到了指示通知你，在你的信中不要提到检查制度。"哈，哈哈，这怎么又提啊！于是我写道："我得到指示通知我妻子不要提到检查制度。可我怎么弄这个事儿？另外，我为什么必得指示她不要提到检查制度？你们有什么事儿瞒着我？"

有趣的是，那个检查官自己不得不告诉我让我告诉我妻子不要告诉我她……但是，我们早有应对。我们说，是的，他们担心信件在从阿尔伯克基的来路上被截获，如果有个人看了信，他或许就会发现这里有检查制度，她能不能正常一点儿。

因此，我下次到阿尔伯克基，跟她说："注意了，我们别再提检查制度了。"但我们有过这么多麻烦，我们最后真的想出了一种密码，这

可是违法的。如果我在我的署名后边加一个小点儿，那意味着我又遇到了麻烦，她就采取她早已炮制好了的下一个步骤。她一天到晚坐着无事，因为她病了，会想出怎么办的办法。她最后办的一件事，是给我寄了一张广告。她发现这广告完全合法。广告上说，“给您的男朋友寄一个拼字游戏。我们把空白组合卡卖给您，您在上面写信，然后打乱它，装进一个小袋子，寄出去。”我收到了这个，纸条上说：“我们没有时间玩游戏。请告诉你妻子自我约束，按常规方式写信。”

我们还准备了两个点的密码，但他们及时改进了工作，我们也就不必用它了。我们为下一封信准备的东西是这样：信在开头说，“我希望你打开这信的时候小心点儿，因为我把给你的胃药粉末装在这信封里了。”那封信里会装满药粉儿。我猜他们在办公室拆信的时候会拆得很快，药粉儿会撒了一地，他们都会气坏了，因为你不想让任何人生气。他们还得把药粉儿收拾起来……但我们不必用那些药粉儿的。

有了这些和检查制度打交道的经验，我就完全知道什么信是通得过的，什么信是通不过的。没人比我知道得更清楚。我因此还为此打赌，赢了一点儿小钱。

有一天，我发现住在远处的工人，想进来的时候，懒得绕远路走正门，就在围栏上扯了一个洞。我就从大门口出去，从那个洞进来，再出去，再进来，直到那个中士感觉到什么事儿不对劲了。这家伙，只见人出去，不见人归来，这是怎么搞的？当然，他自然的反应，是把中尉喊了来，想为此把我扔到监狱里。我解释说，有个洞。

你看，我总是帮助人家改进工作，因此，我跟一个人打赌，我可以把围栏上有个洞这回事儿写在信里，我就把信寄出去了。我真的这么做了。我做的方式，正像这里说的。你应该看到他们是怎么管理这地方的（我们得到允许，可以说这样的话）。离什么什么地方71英尺的地方，围栏上有个洞，有多么多么大，你可以走过去。

现在，他们能干什么呢？他们没办法跟我说，没这么个洞。我的意思是，他们会做什么？有这么个洞，算他们倒霉。他们应该把洞补上。因此，这封信通过了。

还有一封信也通过了，信里说的是在我小组里工作的一个小伙子，约翰·肯马尼（John Kemeny）。军队里的几个白痴，半夜里把他弄醒，拿灯晃着审问他，因为他们发现了和他父亲有关的什么事儿，相信他父亲是个共产党什么的。肯马尼现在是个有名的人。

还有另外一些事儿。跟指出围栏上的洞相似，我总想旁敲侧击地指出这些事儿。在这些我想指出的事儿当中，有一件，是我们一开始就有一些极端重要的机密；我们已经得到了许多关于炸弹和铀的研究成果，这炸弹是怎么工作的，等等；所有这些东西都写在文件里，放在木头文件柜里，柜上锁着普通的小锁。当然，有好些东西都是车间里造的，比方说，一个可以放下来的铁杆儿，然后用一把锁把它扣住，但搞来搞去不过是一把锁。再说，不必把锁弄开，你也可以把东西拿出来。你只要把柜子向后倾斜就办得到。下层的抽屉里有一根小铁杆儿，指望用它来把文件拢在一起，但在下面的木头之间，有一道又长又宽的缝隙。你可以从下边把文件拖出来。

因此，我总是把锁开开，指出这很容易办到。每次我们全体开会的时候，我都站起来说，我们有非常重要的机密，我们不应该把它们放在这种玩意儿里；我们需要好一点儿的锁。一天，特勒（Teller）[31]在会上站起来，他对我说："我没把我最重要的机密放在我的文件柜里；我把它保存在我的写字台的抽屉里。那该好些吧？"

我说："我不知道。我还没见过你的写字台呢。"

他靠前坐着，我坐得很靠后。会议还在继续，我溜了出去，去见识一下他的写字台。

我甚至不需要把抽屉上的锁开开。结果是这样：如果你把手从下边把手伸进去，你可以像从圈儿上扯卫生纸那样把文件拿出来。你拖出一份儿，它又连着另一份儿，它再连着另外一份儿——我把这破抽屉弄个精光，把全部东西都放在一边，回到了楼上。

会快开完了，大家都往外走，我走进人群里，跑过去扯住特勒，说："哦，让我顺便看看你的写字台。"

"没问题。"他说，让我看他的写字台。

我看了看，说："看起来蛮不错。让我看看你藏了些什么宝贝。"

"我很高兴给你展览展览。"他说，把钥匙插进去，打开抽屉。"如果，"他说，"你自己没看过的话。"

跟像特勒这样有高度智力的人恶作剧，有个麻烦：从他琢磨出好像有什么事儿不对劲，到他明白了真正发生了什么事儿之间，时间太短，你都来不及乐一下儿！

我在洛斯阿拉莫斯遇到的一些特别的麻烦，特别有趣。其中的一件事，是和田纳西州的"橡树岭实验室"的安全问题有关。洛斯阿拉莫斯在准备制造原子弹，但是橡树岭却在想办法分离铀的同位素——铀238和铀235（会爆炸的那种）。他们才刚刚从实验中提取了一丁点儿235，一边还要熟悉其中的化学原理。他们将要建造一个大厂子，生产出大桶大桶的东西，然后他们要把提炼过的东西再次提炼，好为下一阶段的工作做好准备。（你不得不经过好几个阶段来提炼它。）因此，他们一方面要熟悉程序，另一方面用一个实验设备提取了一丁点儿铀235。他们在努力学习怎么对它进行化验，搞清楚那东西里有多少铀235。尽管我们把技术指南发给了他们，他们还是理解不透。

因此，最后埃米利奥·塞格雷（Emil Segrè）[32]说，把事情搞妥，唯

一可能的办法，是他下去看看他们在捣鼓什么。军队里的人说：“不行，我们的政策，不允许把洛斯阿拉莫斯的任何情报传到别的地方。”

橡树岭的人不知道铀235要派什么用处；他们只知道努力埋头干他们的活儿。我的意思是，高层的人知道他们在分离铀，但他们不知道那种炸弹有多么厉害，也不知道它是个什么道理。下边儿的人完全不理解自己在干什么。军队希望的，就是这样。没有什么信息交流。但塞格雷竭力强调他们做不好化验，整个事情要泡汤的。因此，他到底是下去了，看他们在捣鼓什么。他在厂子里走的时候，看见他们用手推车在运大桶的水，绿色的水——那是硝酸铀溶液。

他说：“啊啊，等到这东西再次提炼之后，你们也这么推来推去？你们准备这么个搞法？”

他们说：“那是——不行吗？”

“不会爆炸吗？”他说。

啊！爆炸？

于是，军队里的人说：“你看！我们什么也不该让他们知道！现在可好，他们都慌了神儿了。”

需要多少原料才够造炸弹，军方原来已经知道了——怎么也得20千克——他们也知道，这么多提炼好的原料，怎么也不会放在厂子里，因此不会有什么危险。但他们不知道的是，虽然中子在水里的运动速度会慢下来，但其效力会大大增加。在水里，它发生反应放出辐射所需要的原料，不到十分之一——不，不到百分之一。它会把周围的人和其他什么杀死。它十分危险，而他们对安全问题完全漫不经心。

因此，一封电报从奥本海默那儿发给了塞格雷：“对整个工厂进行

检查。根据他们设计的工作程序，注意材料集中在什么地方。我们同时要计算出，多少材料集中在一起才不会发生爆炸。”

两个小组为此展开工作。克里斯蒂小组调查水溶液，我的小组调查装在箱子里的干粉。我们在计算可以把多少原料集中在一起，才安全。克里斯蒂打算到橡树岭，把情况告诉他们，因为整个事情要失去控制了，我们必须去告诉他们。因此我高高兴兴地把全部数据交给了克里斯蒂，说，东西齐了，去吧。克里斯蒂得了肺炎，必得我去了。

我以前从来没坐飞机旅行。他们把机密放在一个小玩意儿里，绑在我背上！在那年头，飞机就跟公共汽车似的，只是站与站之间的距离要大些。遇到站，得落下来，停在那儿等人上来。

站在我后面的那家伙，手里甩着个链子，说了这么一种意思：“这些日子，没优先权想坐飞机，难透了。”

他说得没错儿。我说：“哦，我不知道。我有优先权。”

过了一会儿，他又忍不住了：“要来些将军。他们会把咱们挤到三等舱。”

“没关系，”我说，“我在二等舱。”

他多半会给他的众议员写信——如果他自己不是众议员的话，他说：“在战争期间，他们干吗让这些小毛孩子到处乱转悠，还坐二等舱？”

无论如何，我是到了橡树岭。我让他们做的头一件事，是带我去工厂。我什么也不说，只是什么都看。我发现，情况比克里斯蒂的报告还糟糕，因为他注意到一个房间里摆着许多箱子，但没注意到在隔壁房间里，挨着同一面墙，还摆着许多箱子——以及诸如此类的事情。如果你

把过多的原料放在一块儿，砰地一声，你明白吗？

我走遍了整个工厂。我记性很差，但我高强度工作的时候，短期记忆还不错。所以我记得从90～207号楼，以及多少多少号桶等各种各样的发疯的事情。

当晚我回到房间，把整个事情理了一遍，对他们解释，危险在哪儿，应该怎么补救。事情很简单。你把镉加在溶液里，把水里的中子吸收掉；按照规定，把箱子分开放置，别放得太密集。

第二天，要开个很大的会。我忘了说一件事儿：我离开洛斯阿拉莫斯之前，奥本海默对我说："听着，在橡树岭那边，如下人员是懂技术的：朱利安·韦伯（Julian Webb）先生、什么什么先生、什么什么先生。我希望你一定让这些人来开会，告诉他们，事情怎么办才安全，那样他们才真能听得明白。"

我说："如果他们不能到会，那怎么办？我该怎么办？"

他说："那你就说：洛斯阿拉莫斯方面将不为橡树岭工厂的安全问题负责，除非……！"

我说："你的意思是，小小的费曼，到那儿去，对他们说……？"

他说："是的，小小的费曼，你去，就这么办。"

我长得实在太快了！

等我到会场的时候，果不出所料，我想见到的公司里的大腕儿、技术人员，都在。将军们，还有那些对这个非常严重的问题感兴趣的人，都在。这很好，因为，如果没人注意这个问题的话，这工厂会被炸上天。那儿有个赞姆沃尔特（Zumwalt）中尉，负责照顾我。他告诉我，

少校说我不应该告诉他们中子是怎么工作的，也不要说任何细节，因为我们是想把东西分开，因此只告诉他们怎么保障安全，就行了。

我说：“照我看，除非他们理解它是怎么工作的，否则要他们遵守一大堆规则，那是不可能的。照我看，只有我告诉他们，他们才能知道怎么工作，洛斯阿拉莫斯方面将不为橡树岭工厂的安全问题负责，除非他们完全知道它是怎么工作的！”

这感觉不错。中尉把我领到上校那儿，对他重复了一遍我的看法。上校说：“给我5分钟。”然后他走到窗口那儿，站在那儿，思考。这是他们很拿手的事儿——决策。关于原子弹工作原理的信息，应该不应该传达到橡树岭的工厂这问题，必须而且也能够在5分钟内得到决定，我觉得这很了不起。我因此对军队里的这些家伙们肃然起敬，因为要是让我来决定任何重大的事儿，无论给我多长时间，我也决定不了。

5分钟之后，他说：“好吧，费曼先生，照你说的办吧。”

我坐下来，我把中子的事儿都告诉了他们，中子是怎么工作的，这个这个，那个那个，太多的中子都凑在一块儿了，你们一定得把原料分开放啊，用镉吸收啊，噼里啪啦讲了一通——在洛斯阿拉莫斯，这都是些基础的东西，他们可是闻所未闻，因此在他们看来，我跟个大天才似的。

结果，他们决定成立许多小组，自己计算，学习怎么弄。他们开始重新设计厂房，而且工厂的设计师在场，建筑设计师，机械师，化学工程师，都在忙活新工厂怎么把原料分开。

他们告诉我，过几个月再来；等工程师们完成了工厂的设计的时候，我就又来了。现在，我该看看工厂了。

这工厂还没盖呢，你怎么看啊？我不知道。赞姆沃尔特中尉，老在

我周围转悠，因为我在哪儿，都得有人跟着。他带我到一个屋子里，里头有两个工程师，和一张好长好长好长的桌子，上头放着一堆图纸，告诉拟建的工厂每层楼是什么样子。

我在学校里学过机械制图，但我不太会识图。于是他们就把那一堆图纸铺开，开始为我解释，以为我是个天才。在这个厂房中，他们应该避免的事情之一，是不要把原料堆积起来。他们有些麻烦，比方说，有干燥器在工作的地方，干燥器就趋向于把过多的原料积累起来；如果阀门卡住了什么的，过多的原料就积聚起来，那就会爆炸。于是他们对我解释说，这个厂房设计成这样：如果有一个阀门把原料卡住了，什么事儿也不会发生。每个地方都需要两个阀门。

接着，他们解释这是怎么工作的。四氯化碳从这儿进来，硝酸铀从这儿进到这儿，它往上，再往下，它穿过地板上了楼，通过管道上来，是从二楼上来的，啪啦啪啦啪啦——一张一张地翻图纸，下去上来，下去上来，说得很快，解释这个非常非常非常复杂的化学工厂。

我整个晕了。更糟糕的是，我不知道图纸上的符号是什么意思！有个什么玩意儿，我开始还以为是窗户呢。那是小方框儿，中间打个叉儿，到处都画这鬼东西。我以为是窗户，但不是啊，不可能是窗户，因为它不总在边上。我想问他们那是什么东西。

想必你也曾经处境如此尴尬：后悔你不早问。不懂就问，早没事儿了。可现在，人家都讲了那么一大堆了。你也犹豫了老长时间。要是你现在才问，他们会说：“你浪费我这么长时间，什么意思啊？”

我可该怎么办啊？我有了个主意。那或许是个阀门。我伸出一根手指头，把它压在第三页图纸中间的那个神秘的小叉儿上，说，“如果这个阀门给卡住了，那会怎么样？”——我心里盘算着他们会说：“那不是个阀门，先生，是个窗户。”

于是，两个人面面相觑，说："那个，如果那个阀门卡住了——"在图纸上，一个人上上下下地比画，另一个人上上下下、前前后后地比画，他俩都看着对方。他们转过来，看着我，张着口，像受了惊吓的鱼，说："您完全正确，先生。"

于是，他们把图纸卷起来，离开了，我们也走了出来。赞姆沃尔特先生，一直跟着我，说："您是个天才。您在厂子里走一趟，第二天早晨就能跟他们讲90～207号楼里C-21干燥器的事儿，我当时就知道您是个天才。"他说："您做得简直令人难以置信，我想知道，您是怎么办到的？"

我告诉他，搞清楚那玩意儿是不是个阀门，就行了。

我处理的另外一个问题是这样：我们不得不用玛珍（Marchant）计算机来进行大量计算。顺便插一句，让你对洛斯阿拉莫斯有个印象：这些玛珍计算机是手摇的，上头有许多数码儿。你拿手摇它，它就加减乘除什么的，但不像如今那么容易。它是机械的玩意儿，经常在关键时候掉链子，那就必得送回工厂修理。我们有几个人把计算机的外壳卸掉了。（我们不该这么干的。上头有警告写得明白："如果把外壳拆除，我们便不负责……"）我们把外壳卸掉，就学会了怎么修它；因为修的部位越精细，我们就越来越熟悉它。我们遇到太复杂的问题的时候，就把它送回厂子；但容易修的，我们自己修，活儿也不耽误。结果，所有的计算机都由我来修，可车间里有个负责维修打字机的家伙。

无论如何，我们看得很准，那个大问题——就是精确地计算出原子弹爆炸时是个什么情况，就是说，你得精确地计算出有多少能量释放出来这类事儿——这需要很多计算，多得我们招架不过来。有个叫斯坦利·弗兰克（Stanley Frankel）的聪明伙计，意识到这事儿用IBM的机器或许能办得了。IBM有些商用机器，名叫制表机的加法机器；还有个乘法机，你可以把卡片放进去，它就能把一张卡上的两个数乘起来。还有校

对机和分类机什么的。

弗兰克就琢磨出了一个很妙的方案。如果我们在一个房间里摆的这种机器足够多，我们转着圈儿地往机器里放卡片。搞计数的人都很清楚我说的是什么，但这在当初还是新生事物——用机器进行的大规模生产。我们在加法机上干过这样的事。你通常是一口气把一个步骤计算完，事儿都是你一个人做的。但这个方案有所不同——你先去用加法机，然后用乘法机，然后用加法机，等等。弗兰克因此就设计了这么一个系统，从IBM公司订了许多机器，因为我们意识到，这是个解决问题的好办法。

我们需要有个人来修理这些机器，别让这些机器停摆。军队总是把他们的一个人派来，而他总是姗姗来迟。现在，我们的活儿总是急的。我们做的每一样事儿，我们都得尽快地干。在这种特别的情况下，我们把打算让机器干的所有计算步骤都搞出来了——乘以这个，然后干这个，然后除以那个。我们把程序搞出来了，可没有机器来试验。于是，我们腾了一个屋子，弄了些女孩儿在里面。每个女孩儿都有一台玛珍：一个管乘法，另一个管加法。这一位是算立方——她只管把索引卡上的数的立方算出来，然后传给下一个女孩儿。

我们如此这般转圈儿地试验，最后把这个过程中的一些小瑕疵都去掉了。结果证明，其速度要比老方式，即每个人单独完成所有的计算步骤，快多了。我们这个系统的速度，赶得上IBM机器的设计速度。唯一的不同，是IBM机器不知疲倦，不用三班倒。可我们的女孩儿，过一阵子，都累倒了。

不管怎么样，我们把程序的毛病都克服了，最后机器到了，可维修工没到。这是那个时代技术最复杂的机器，都是些大家伙，得拆卸了，一块儿一块儿地运来，许多许多电线，还有图纸告诉你怎么做。斯坦利·弗兰克、我和另外一个伙计，我们自己动手，把机器组装起来，但我

们遇到了麻烦。最大的麻烦，是那些大腕儿们总是过来说：“要把东西搞坏的啊！”

我们把机器装起来了，有的时候，它运行正常，有的时候组装错了，不转了。最后我捣鼓乘法机，我看到它里面有个零件弯曲了，但我不敢把它弄直，因为它可能啪地一下子断了——人家一直对咱说，咱非得弄出点儿不可挽回的事儿不可。到修理工来了的时候，他把我们还没准备好的机器装了起来，一切正常。但那台让我遇到麻烦的机器，他也觉得麻烦。三天之后，他仍然在跟这最后一台机器忙活。

我凑过去，说：“哎，我发现那个玩意儿弯了。”

他说：“啊，可不是嘛，都是它惹的祸！”扳直了！一切正常了。这么说是它惹的祸啊。

哈，弗兰克先生，发起这个方案的，就是这主，得了计算机病，如今玩计算机的人，都知道这种病。这病很严重，会完全妨碍正经事儿。和计算机有关的麻烦，是你和它玩。计算机可太妙了。按钮都由你掌握着——你按这个，它就是个偶数，你按那个，它就是个奇数——如果你聪明，用这么一台机器，过不了多久，你就能干越来越老道的事儿。

过了一阵子，整个系统崩溃了。弗兰克心不在焉，没监督着大家。系统运行得很慢很慢——此时此刻，他却坐在另一个屋子里，琢磨怎么让一台制表机自动打印出角度X的反正切，那样机器就开始运行，打印纵表，然后，吱、吱、吱，一边打印，一边通过积分计算把反正切值计算出来。一次运行，就弄出一整套反正切表来。

绝对是吃饱了撑的。我们有反正切表嘛。但是，只要你曾经用计算机工作过，你就理解这种病——它能让你看看自己有多大能耐，这是一乐子！但他是第一个得这病的人，这个作茧自缚的可怜家伙。

领导要我把在小组里的工作放下，接管IBM小组。我竭力避免染上那种病。尽管在9个月里只解决了3个问题，但我这个小组还是很不错的。

真正的麻烦，是没人告诉这些伙计任何事情。军队从全国选了他们这帮人来，说是来做所谓“特遣工程”的事儿——都是些有工程能力的高中生。他们被派到洛斯阿拉莫斯来，住在兵营里，不知道要干什么。

然后他们来工作了，他们用IBM机器工作——打孔，那是些他们不知何物的数字。没人告诉他们那是什么。事情做得很慢。我说，头一件应该做的事儿，是让这些懂技术的家伙，知道自己在干什么。奥本海默去跟安全部门谈了谈，得到了特别许可，这样我才去讲了很好的一堂课，告诉他们，我们在干什么。他们欢呼雀跃：“我们在打仗啊！我们明白那是什么！”他们知道了那些数字是什么意思。如果计算出的压力高，那就意味着释放出的能量大，等等。他们知道了自己在干什么。

他们整个变了！他们开始发明一些办法把事情做得更好。他们改善了程序。他们加夜班。在晚上也不必有人监督他们；他们什么也不需要。他们什么都理解；他们发明了我们需要的好几种程序。

因此，我的小伙子们出息了，只需要告诉他们那是什么，就成了。结果，尽管他们以前花费了9个月解决了3个问题，现在我们用3个月解决了9个问题，几乎快了10倍。

但我们解决问题的秘密方式之一，是这样：一捆卡片，都得走一圈儿。首先是加法，然后是乘法——这样，它得在这屋子里经过一圈儿机器，很慢的，因为它老这么转来转去。于是我们琢磨出了一个办法，把另一套不同颜色的卡片也加到转圈儿计算中，但时间和前一套不一致。我们一次就可以解决两三个问题。

但这让我们有了另外一个麻烦。比方说，接近战争结束的时候，就在我们在阿尔伯克基试爆之前，来了问题：释放的能量有多少？我们已经计算过好几种设计不同的炸弹的能量释放，但还没计算过最终用来试爆的这一种。因此，克里斯蒂来跟我们说："我们在1个月之内，想知道这东西炸起来有什么结果"——这么说吧，很短的时间，比方说3个星期。

我说："不可能。"

他说："什么呀，你们1个月解决了两个问题。每个问题，只需要2个星期，或者3个星期。"

我说："我知道。解决问题，实际上需要更长的时间，但我们是平行地解决问题。整个过程，需要很长的时间，没办法更快了。"

他出去了，我开始想。有没有办法让它转得更快？没有别的事情来占着机器，没别的事情来打岔儿，办得到吗？我在黑板上写了"我们办得到吗？"向小伙子们挑战。他们全喊起来，"办得到，我们干两班儿，我们加班加点。"都这么个说法。"办了！办了！"

有了规定：别的问题都放下。只有一个问题，全力以赴解决这一个。于是他们开始投入工作。

我妻子阿琳患了肺结核——病得确实厉害。好像任何时候都会出事儿，因此我提前做了准备，借了宿舍里的一个朋友的汽车，以便到时候好紧急赶往阿尔伯克基。他名叫克劳斯·富克斯（Klaus Fuchs）[33]。他是个间谍，用他的汽车把原子弹机密从洛斯阿拉莫斯送到了圣达菲（Santa Fe）[34]。但当时没人知道这个。

阿琳病危的时刻来临了。我借了富克斯的车，捎带了两个搭便车的，以免这车在往阿尔伯克基的路上出问题。不出所料，我们一到圣达

菲，就爆了胎。那两个家伙帮我换胎，正当我们准备离开圣达菲的时候，另一个轮子又爆了。我们就把车推到了附近的一家加油站。

加油站的家伙在修另一个人的车，我们得等上一阵子，才能轮到他来帮我们的忙。我甚至不想说什么，倒是那两个搭便车的，到加油站那里跟他说明了情况。我们很快就有了一个新轮胎（但没有备用的了——在战时，轮胎很难搞到）。

大约离阿尔伯克基50千米的地方，第三个轮子瘪了。我就把车扔在路上，搭便车走完余下的路。我给一家修车行打了电话，让他们过来把车弄走，与此同时，我去了医院看我妻子。

我赶到之后才几小时，阿琳死了。一个护士进来填写死亡证明书，又出去了。我和我妻子多待了一会儿。我看了看我7年前送给她的那个钟，那时她刚刚患了肺结核。在那年头，这算是个好东西：那是个用数码显示的电子钟；随着机械部分的运转，数码会变化。这钟很娇气，经常因为这样那样的原因停摆——我必须时不时地修修它——但在那些年月中，我没让它停过。现在，它又停了——停在9：22，死亡证明书上写的就是这个时间！

我记得，有一次我在麻省理工学院兄弟会的房子里，冷不丁地，脑子里出现了一个想法：我祖母死了。接着就来了电话，事儿是这种事儿，却是打给彼得·伯内斯（Pete Bernays）的——我的祖母还活着。我记得这事儿，万一这电话就是打给我的呢？我琢磨着，这种事儿，有时候碰巧会发生——我祖母毕竟也是风烛残年了——尽管大家或许相信，这种事儿的发生，是某种超自然的现象。

阿琳在生病期间，一直把这钟放在她的床头柜上；现在，它停在她死去的那一刻。有的人，对这种事情的可能性，将信将疑，没有善于怀疑的头脑——尤其身在那样的情势之下——一时搞不明白发生了什么

事，是会这样解释的：没人动过那个钟，把它解释成寻常现象，是不可能的。我很能理解他们这种想法。但钟不过是停了而已。这就成了那些匪夷所思的现象的一个很有戏剧性的例证。

我看到房间里光线很暗，我记得当时那个护士把钟拿起来，转到灯光这边儿，看钟面好看得清楚些。这就很容易把钟弄停。

我到外边走走。或许我在自欺欺人，但让我惊讶的是，我没有人们在这种情况下该有的那种感觉。我没有高兴，但也没觉得特别难过，这或许是因为，7年来，我已经知道这事儿是免不了的了。

我不知道我如何面对我在洛斯阿拉莫斯的朋友们。我不希望大家拉长着脸跟我谈这事儿。当我返回的时候（在路上又爆了一个胎），他们都来问我发生了什么事儿。

“她死了。工作进行得怎么样？”

他们立刻明白了，我不想为此终日哀伤。

（我显然为自己做了一些心理安慰的事：现实是重要的——我一定要理解，从生理学上说，阿琳究竟是怎么了；我没哭，直到几个月之后。当时我在橡树岭，我正走过一家百货商店的橱窗，里头挂着女式服装，我想阿琳或许喜欢其中的一件。此时此刻，我不胜悲戚。）

等我回去进行计算工作时，我发现那里一团糟。有白色的卡，有蓝色的卡，有黄色的卡，我开始说：“没人要你们解决另外的问题——只有一个问题嘛！”他们说：“出去、出去、出去。稍安勿躁——我们会把一切解释清楚。”

那我就稍安勿躁，事情是这样的：当卡片在里面走的时候，这机器有时会出错儿，或者他们也可能把卡片塞错了。在发生这样的事情时，

我们以前通常的搞法，是返回去，从头再来。但他们注意到，在一圈儿计算的某一点上发生的一个错误，仅仅影响附近的几个数，下一圈儿也影响附近的几个数，如此等等。它是论每包卡片计算的。如果你有50张卡，你在39号卡那儿出了个错误，它会影响37、38、39号卡。下一圈儿受影响的，是36、37、38、39和40号卡。下一次，这错误就像一种病那样蔓延开来。

他们往回走一段儿，发现了一个错误，于是就得到一个主意。他们只计算那个错误周围的一小叠卡片。因为往机器里塞10张卡，要比塞50张的一叠卡，快得多，所以他们在继续计算那传播疾病的50张卡的同时，快速地计算10张卡的那一叠。因为10张卡的那一叠计算得很快，他们就把它封起来，并纠正它的错误。好聪明啊。

这帮家伙干得如此神速，靠的就是这办法。假如他们停下来从头再来，我们就损失了时间。我不一定能想出这法子啊。他们却在做这不一定的事儿。

当然，正当他们在忙活的时候，发生了个事儿。他们在蓝色的那叠卡里发现了一个错误。于是他们弄了张数少一些的黄色的一叠卡；这黄的一叠比蓝的一叠走得快。正当他们为此疯魔的时候——因为在他们把这个弄好了之后，他们不得不去纠正那一叠白卡里的错误——我这当老板的踱进来了。

“别来烦我们。”他们说。我不去烦他们了，一切都搞妥了。我们及时解决了问题。事儿就是这么办成的。

起初我是个小卒子。过了一阵子，我当了小组长。我见到了一些大人物。见到那些魅力四射的物理学家，是我一生中最棒的经历之一。

其中当然有恩里科·费米[35]。他曾经从芝加哥来了一趟，稍微问了

问情况；如果我们有问题，他就帮我们。我们曾经和他开了个会，我一直在搞计算，也取得了一些结果。那些计算太精细了，非常难。在这方面，我通常是专家；我总是能告诉你结果会是怎么个样子；在我得到结果的时候，我也能解释为什么会有这么个结果。但是，现在的事情太复杂，结果为什么是那个样子，我解释不了了。

因此，我告诉费米我正在解决这么一个问题，开始解释那些结果。他说："等一下，在你告诉我结果之前，让我想想。结果会是这个样子（他说对了），结果之所以会是这个样子，那是因为这个这个那个那个。这太明显了，我们可以这样解释……"

他这一招儿，本该是我的拿手好戏，可他比我强十倍。真是山外有山啊。

接着是约翰·冯·诺伊曼，大数学家。我们通常在星期天一起散步。我们在峡谷里走，贝特和鲍勃·巴舍尔也经常入伙儿。那真是一乐子。冯·诺伊曼给了我一个很有意思的想法：你不必为你身在其中的这个世界负责。由于冯·诺伊曼的这个建议，我形成了对社会强烈的不负责任感。这使我从此以后成了一个很快乐的人。是冯·诺伊曼播下了这颗种子，这种子在我的思想里长成了活跃的不负责任感！

我还见到了尼尔斯·玻尔[36]。他那时名叫尼古拉斯·贝克（Nicholas Baker），他是和他儿子吉米·贝克（Jim Baker），他的名字实际上叫亚奇·玻尔（Aage Bohr），一起来到洛斯阿拉莫斯的。他们是从丹麦来的，父子俩都是非常著名的物理学家，这个你都知道。即使对那些大腕的家伙来说，玻尔也是一尊大神。

我们一起开过会，他第一次来的时候，人人都想一睹伟大的玻尔的风采。因此那儿人很多，当时我们在讨论原子弹的问题。我坐在后边哪个角落里。他来也匆匆，去也匆匆，我只能从大家脑袋之间的缝隙看

他。

在他第二次来的那天早晨，我接到了个电话。

“喂——费曼吗？”

“是我。”

“我是吉米·贝克，”是他儿子，“我父亲和我想跟你说说话。”

“和我？我是费曼。我只是个……”

“好了，好了。八点可以吗？”

因此，在早晨八点，在大家醒来之前，我去了那地方。我们进了技术区的一个办公室，他说：“我们一直在考虑怎么让这炸弹更有威力，我们考虑的是下面这个看法。”

我说：“不成，那不管用。那没威力……叽里呱啦、叽里呱啦。”

于是他说：“如此这般，怎么样？”

我说：“那听上去好那么一点儿，但透着点儿蠢劲。”

就这么谈了大约两小时，来来往往地说了很多想法，还发生了争论呢。伟大的玻尔，不断拿火点他的烟斗，烟斗总是灭。他讲话的方式，不大好懂，嘟嘟囔囔，嘟嘟囔囔，很难听明白。他儿子的话，我听得比较清楚。

“好吧，”他最后点着烟斗说，“现在，我猜我们可以把那些大腕们招呼来了。”于是他们把别的家伙们都叫来了，和他们讨论。

后来，他儿子把事情的来龙去脉告诉了我。上次他来的时候，玻尔

对他儿子说："还记得坐在后边那个小家伙叫什么名字吗？就他这么一个家伙，不怕我。我想法走火入魔的时候，他敢直言。因此，下次咱们想讨论的时候，不能和那些张口闭口是的、是的玻尔博士的家伙们说了。把那小子找来，咱们先跟他聊聊。"

我总是这么傻乎乎的。我从来不知道自己在跟谁讲话。我总是为物理学操心。如果那个想法看起来糟糕，我就说它看起来糟糕。如果它看起来好，我就说它看起来好。我不会拐弯抹角。

我总像这样过日子。这很好，很快乐——但愿你也能这么办。在我的一生中，我很幸运，可以这么办。

我们把计算搞出来了，下一件事儿，当然，就是试爆。那个时候，我实际上在家里休了一个很短的假期，那是在我妻子去世不久，传来消息说："小宝宝在哪天哪天要降生了。"

我飞了回去，我到的时候，大巴刚刚要开，所以我就直接去了现场。我们在那儿等着，在30千米开外。我们有个收音机，他们该告诉我们这东西什么时候爆炸之类的，可收音机坏了，因此我们根本不知道下面会发生什么事儿。但是，就在它应该爆炸的前几分钟，收音机好了，那边告诉我们还有20来秒，这是对我们这些站在远处的人而言的。另一些人，靠得比较近，在10千米的地方。

大家发了墨镜，好戴着墨镜看。墨镜啊！30千米之外，透过墨镜，你啥玩意儿也看不到。我琢磨着，真对你眼有害的（亮光怎么也伤不了眼），只有紫外线。我坐在一辆卡车的挡风玻璃的后边儿，因为紫外线穿不透玻璃，这该安全吧，这样我才好看那个鬼东西。

时候到了，那边一团巨大的闪光，晃得我猫下腰去，我却在卡车的底板上看到一片紫色。我说："不对劲。这是视觉残留的余像。"我于是

抬起头，看到白光变成了黄的，又变成了橘红的。云朵形成又消散——这是冲击波压缩和膨胀的结果。

最后，一个橘红的大球，中心明亮异常，它变成了一个橘红的球，开始升腾，稍作汹涌状，边缘稍微黑了一点儿，然后你看到它成了一个闪闪发光的大烟团，内部的火突突窜出，还有热。

这一切持续了大约1分钟。那是一个由明到暗的序列，我都看见了。或许我是看清楚了这鬼东西的唯一的一个人——第一次“三合一”试爆。别人都戴着墨镜；10千米处的人，什么也没看到，因为他们按照指示趴在地上。我多半是用肉眼看它的唯一的家伙。

最后，大约一分半钟，突然，一声巨响——嘣，然后作隆隆之声，犹如滚雷一般——这声音让我心里有底了。在这整个过程中，没人说一句话。我们只是默默地看。但这声音，让大家如释重负——特别让我如释重负，因为，这声音，从那么远传来，厚实，这意味着，事儿真的成了。

站在我旁边的那人，说：“那什么玩意儿？”

我说：“那就是那炸弹了。”

那人是威廉·劳伦斯（William Laurence）。他在那儿，是为了写一篇文章来讲述整个情况。我本是负责带他到各处看的。后来发现，事情对他来说，太技术性了，因此后来来了个史密斯（H.D.Smyth），我就带他到处看。我们做过的一件事，是我们到了一个房间，在一个窄窄的基座的顶上，有一个镀银的小球。你可以把手放在这球上。它热乎乎的。它有放射性。它是钚。我们站在这房间的门口，在谈论它。这是一种人造的新元素，在地球上是前所未有的，或许它只在地球刚形成的时候，存在了非常短暂的一段时间。此时此地，它被分离了出来，有放射

性等性质。我们把它造出来了，因此，它是个无价之宝。

与此同时，你知道大家在谈话的时候，都是个什么德性——浑身乱动什么的。他在踢那个制门器，我说，你明白吧。“没错，这制门器和这门可真是太般配了。”这个制门器是个直径25厘米的黄灿灿的金属半球——金的，真的。

话得从头说起：我们需要做一个实验，看看不同的材料能把多少中子反射回来，这为的是节约中子，那样我们就不必用掉那么多材料了。我们试过许多不同的材料。我们试过白金，我们试过锌，我们试过黄铜，我们试过金。因此，在用金做实验的时候，我们有了一些碎金子。某人出了这么个聪明的点子，用这个大金球当存放钚的那房间的制门器。

这玩意儿爆炸了以后，洛斯阿拉莫斯一片兴奋。大家都在聚会，我们到处乱跑。我还坐在吉普车后座打鼓什么的。只有一个人，罗伯特·威尔逊，坐在那儿，闷闷不乐。

我说：“怎么闷闷不乐的呀？”

他说：“那是个可怕的东西，我们造的。”

我说：“这可是你挑头儿的。你把我们大伙都扯了进来。”

你瞧：我都干了什么——这其余的人都干了什么——我们蛮有理由，就动手干了，然后你卖劲干活儿，弄成了一个东西，这很快乐，很刺激。你知道，你停止思想了；你就是停止思想了嘛。此时此刻，只有罗伯特·威尔逊一个人，还在那儿思考这事儿。

此后不久，我返回了文明世界，到康奈尔大学教书。我的第一感觉很奇怪。我不理解那种感觉，但当时是很强烈的。我坐在纽约的一家饭

店里，比方说，看着窗外的建筑物，开始想，你知道，广岛原子弹的破坏半径有多大……第34大街离这儿多远……所有那些建筑物，全部夷为平地——等等。我一边走，一边看有人在造大桥，或者在铺新路，我想，他们都疯了，他们就是不明白，他们不明白啊。我们为什么要造新东西？都在瞎忙活。

但幸运的是，这种瞎忙活的日子，已经过去了将近40年，不是吗？因此，说造大桥是瞎忙活，可见是错了；别人有勇往直前的勇气，我很欣慰。

撬锁贼碰到了撬锁贼

我跟一个名叫列奥·拉法特里（Leo Lavatelli）的家伙学会了开锁。我发现，一般的旋转弹簧锁——如耶鲁锁——容易开。你把螺丝刀插在锁眼儿里（你得贴着一边往里插，好让锁眼儿留出空隙），试着转动。这么转，是转不动的，因为里头有一些栓子，一定得把栓子抬到一定的高度（用钥匙）。因为锁造得不那么地道，因此经常只有一个栓子在吃力，其他栓子不起作用。现在，如果你把一段铁丝——或许是一个曲别针，头上有个小凸起的最好——插进去，然后再在锁里前后哆嗦着，你最后就能把那个吃大部分力的栓子，撬到合适的高度。锁就松动了，但只松动了一点儿，第一根栓子在上面待着，卡在边上。现在，大部分的力，是第二根栓子吃着，你再花几分钟重复刚才这个随意的过程，直到把全部的栓子都拉起来。

经常发生的事儿，是螺丝刀打滑，你听到吱啦、吱啦、吱啦，这让你急得发疯。在钥匙拔出来的时候，有一些小弹簧就把栓子推到下边了；把螺丝刀一拔出来，你就听得见栓子啪啦一下掉下去了。（有时你故意把螺丝刀拔出来，为的是看看你插的地方对不对——比方说，你可

能插错地方了。）这过程有点儿像西西弗斯（Sisyphus）[37]：你总是从山顶上滚下来。

过程是简单的，熟才能生巧。你得学会怎么紧紧把东西压住——压得足够紧，栓子才会待在那儿，但也不能太紧，否则栓子就不往上走了。大家经常把自己锁了起来，把锁开开不那么难，而大多数人其实都不知道这个。

在我们开始在洛斯阿拉莫斯搞原子弹项目的时候，一切都是匆匆上马，实际上没准备好。这项目的全部机密——所有和原子弹有关的东西——都放在文件柜里。要是文件柜锁了的话，也是用的挂锁，这种锁或许只有三个栓子：开这种锁，跟掰开饼似的容易。

为了加强保密工作，车间为每个文件柜加了一根挺长的铁棍儿，把抽屉把手串起来，再用挂锁绊住铁棍儿。

有个家伙对我说："瞧车间弄出的这个新生事物——现在你能把柜子打开吗？"

我看了看柜子背面，看到抽屉底不结实。每个抽屉上都有了狭缝，狭缝里有一根铁棍，铁棍绊着一个可以滑动的板（它在抽屉里边把文件拢住）。我从后边把手伸进去，把那个板往后推，然后从狭缝往外扯文件。"瞧！"我说，"连锁都不用撬。"

在洛斯阿拉莫斯，大家都很合作，我们觉得指出应该得到改善的事儿，是我们的责任。我一直在发牢骚，说文件不安全，可别人都认为那很安全，因为有钢棍儿，有挂锁，可那顶个什么用啊。

为了证明那些锁不顶用，每当我需要一个人的报告而他又不在旁边的话，我就径直到他们的办公室，打开文件柜，把东西拿走。我把事情做完了，就把东西还给那个家伙："谢谢你的报告。"

“你从哪儿弄的？”

“从你文件柜里拿的。”

“但我把它锁了啊！”

“我知道你锁了。锁不顶用。”

终于来了一些文件柜，装了“莫斯勒锁业公司”造的密码锁。柜子上有三个抽屉。把最上边的抽屉拉开，挂钩就开了，另外两个抽屉也就跟着开了。最上边的那个抽屉是这么开的：按照密码，转动密码轮，往左，往右，再往左，然后往右转到10，这就把里边的一个闩挑开了。整个文件柜是这么关的：首先关上底下的两个抽屉，然后关最上边的那个抽屉，转动密码轮离开10，这就把那个闩扣上了。

自然，这种新文件柜立刻成了我的挑战。我喜欢难题。一个家伙搞出个东西，来为难另一个家伙；可是，道高一尺，魔高一丈！

我必须首先理解这种锁是怎么工作的，所以我就把我办公室的那个拆了。它工作的道理是这样的：一根杆上有三个圆盘，一个挨着一个，每一个圆盘都在不同的地方有凹槽。这个想法，是把三个凹槽排成一条线，这样，当你把密码轮转到10的时候，一点点摩擦力会把那个闩带进由那三个圆盘组成的狭缝里。

现在，转动三个圆盘，就有一个栓子从密码轮的后面伸出来，还有一个同样半径的栓子是从第一个圆盘上竖起来的。把密码轮转一圈，你就会把第一个圆盘带起来。

第一个圆盘背后有一个栓子，其半径和第二个圆盘前边的那个栓子的半径一样，因此，等到你把密码轮扭到第二圈的时候，你也把第二个圆盘带起来了。

继续转动密码轮，第二个圆盘背后的栓子，会连动第三个圆盘前面的那个栓子，现在你就把第三个圆盘弄到了跟密码轮的第一个数字相符合的合适位置上了。

现在，你必须向相反的方向转动密码轮一整圈，以便从另一边连动第二个圆盘，然后继续按照密码轮的第二个数字转动。以便把第二个圆盘弄到合适的位置上。

你再次反转方向，把第一个圆盘弄到合适的位置上，现在，三个凹槽在一条直线上，把密码轮转到10，柜子开了。

我折腾了一番，没有进展。我买了两本开锁的书，都是大同小异的。书开头讲关于这位开锁匠非凡业绩的几个故事，比方说，一个女人把自己锁在了藏肉的冰箱里，快要冻死了，这位开锁的，把自己倒挂在房梁上，两分钟就把它打开了。或者海底下有一些昂贵的皮毛和金条，他潜到水下，把箱子打开了。

书的第二部分，告诉你怎么开保险柜。书里有各种各样的傻里傻气的东西，比方说“把某个日子当密码试试，或许是个好主意，因为许多人喜欢把日期当密码”，或者“考虑一下保险柜主人的心理，他可能把什么数字当作密码”，以及“秘书常常担心把保险柜的密码忘了，所以她或许把密码写在如下这些地方——写字台的边上、通讯录里……”等等。

怎么打开一般的保险柜，这些书确实告诉了我某些有意思的东西，而且也很容易理解。一般的保险柜，有一个多余的把手，因此，如果在你转动密码轮的时候，往下压那个把手，事情就不公平了（对锁不公平）。把手上的力，试图把闩推到凹槽里（并没有排成一条线），而一个圆盘受的力会比另外一个多。当那个圆盘上凹槽走到闩的下面的时候，会有一声轻微的啪啦，用听诊器是可以听到的，或者你手上可以感觉到摩擦力增加了一点儿（要感到摩擦力，你不必用砂纸来擦你的指

尖），你知道，“找到一个数码了”！

你不知道那是第一、第二还是第三个数码。但是，你很可能猜得出是哪一个，只要你看看你需要反转密码轮多少次才又能听到那声啪啦就行了。如果不需要转一圈儿，那就是第一个圆盘；如果少于两圈儿，那就是第二个圆盘（你必须根据栓子的粗细做相应的矫正）。

这一有用的手法，只能对付有把手的一般的保险柜，所以我又没辙了。

我在文件柜上把各种各样的辅助手段都试过了，诸如不打开顶上那个抽屉，把前面的螺丝钉卸掉一个，然后插进一段晒衣服用的铁丝，想把下面的两个抽屉的插销弄开。

我试过快速转动密码轮，然后转到10，这样会增加一点儿摩擦力，我指望这会使一个圆盘以某种方式停住。我把什么东西都试过了。我都急眼了。

我还进行了不少系统的研究。比方说，一种典型的密码组合是69-32-21。在你想把保险柜打开的时候，密码允许多大的误差？假如密码是69，那么68也管用吗？67也管用吗？就我们的这种特别的锁而言，答案是：68和67都管用，但66不管用。在两个方向上，允许的误差都是2。这意味着，每五个数码，你就得试其中的一个，所以你可以试0、5、10、15，等等。在一个有100个刻度的密码轮上，就有20个这样的数码，这样就有8000种可能的数码组合；如果你想试遍全部数码的话，那么就有100万种可能的数码组合。

现在的问题是，试完8000种数码组合，要花我多长时间？假定我们已经得到了我想得到的前两个正确的数码组合，比方说，是69-32。但是我并不知道，我得到的数码组合是70-30。我可以试20种可能的第三

个数码组合，而不必每次都确定前两个数码组合。现在，假定只有第三个数码组合是对的。在第三个圆盘上把20个数码试完了之后，我就稍微转动一下第二个圆盘，然后在第三个圆盘上试另外20个数码。

我一直在我自己的保险柜上练习，所以我能以我最快的速度进行这个过程，而且脑子不乱，不会忘记该试的数码到了哪一个，从而把前一个数码搞乱。就像练习变戏法似的，我在试数码的时候，绝对有节奏，不到半小时，就能试遍后面的400个可能的数码组合。这意味着我最多只需要8小时开一个保险柜——平均4小时开一个。

洛斯阿拉莫斯还有另一个家伙，叫斯塔雷（Staley），也对锁感兴趣。我们时不时地谈开锁的事儿，但没谈出个什么。等我琢磨出怎么在平均4小时内打开保险柜的时候，我想向斯塔雷显示一番这是怎么弄的，所以我走进计算部的一个家伙的办公室，问道："用一下你的保险柜，介意吗？我想让斯塔雷长点儿见识。"

与此同时，计算部的几个家伙过来看热闹，一个家伙说："嗨，各位；费曼想让斯塔雷见识见识怎么开保险柜，哈、哈、哈！"我本来没真的打算开保险柜；我只是想向斯塔雷显示怎么快速地试后两个数码，却又不会忘记试到哪儿了，以至于不得不再确定第一个数码。

演示开始。"让我们假定第一个数码是40，我们把15作为第二数字来试。我们往前和往后转到刻度10；再往后多转5个刻度，再往前转到刻度10；如此这般。现在，我们已经试过了可能的第三个数码。现在，我们把20当作第二个数码来试；我们往后转到刻度10，往前转到刻度10；再往后多转5个刻度，往前转到刻度10；往后再转5个刻度，往前，咔嚓！"我下巴都掉下来了：第一和第二个数码碰巧对了！

没人看到我什么表情，因为我背对着他们。斯塔雷看来吃惊不小，但我们俩都很快知道是怎么回事儿，于是我兴高采烈地把顶上的抽屉拉

了出来，说："搞定了！"

斯塔雷说："我看明白了你什么意思；这办法非常棒。"——我们俩迈步出门。大家都傻了眼。那纯粹是瞎猫碰到了死耗子。但我确实名声大噪，我会开保险柜。

花了我大约一年半的时间，我才有这造诣。（当然，我也在搞原子弹！）我觉得我已经把保险柜打败了，这意思是说，如果确实真出了麻烦——如果有人失踪了或者死了，没其他人知道密码，但我们急着要文件柜里的东西——我是能把它打开的。在读过了开锁匠书里的那些华而不实的东西之后，我觉得我这一次堪称壮举。

我们在洛斯阿拉莫斯没什么娱乐，我们得为自己找点儿乐子，因此摆弄我文件柜上的莫斯勒锁，成了我的一项娱乐活动。有一天，我观察到了一个有趣的事儿：当锁开着的时候，抽屉也拉出来了，密码轮停在刻度10（人在打开文件柜往外拿文件的时候，就是这么干的），锁闩还扣着呢。锁闩还扣着，这什么意思？这意思是：锁闩仍然在排成一条直线的三个圆盘形成的凹槽里啊。哇噻！

现在，假如我把密码轮稍微转离刻度10，锁闩就从凹槽里抬起来了；如果我们立刻返回刻度10，锁闩就又掉进了凹槽，因为我还没把凹槽搞乱。如果我每次转5格转动密码轮离开刻度10，那么到某一个刻度，即使我再返回刻度10，锁闩也不会掉在凹槽里了：凹槽已经搞乱了。紧前面那个数，即仍然允许锁闩掉到凹槽的那个数，就是密码组合的最后一组数！

我意识到，我可以依照此法发现第二组数：一旦我知道了最后一组数，我就可以朝另一个方向，还是每次转5格，一点一点地转第二个圆盘，直转到锁闩掉下去，而紧前面那个数就是第二组数码。

如果我很有耐心，我会把三组数都这样搞出来，但用那种很细致的办法弄到第一组数码组合需要的劳动，要比在文件柜关着的时候并且在你已经知道后两组数码的前提下去试那20个可能的第一组数码所需要的劳动多得多。

我练啊练啊，练到我连密码轮都不怎么看，就能从开着的文件柜上搞到后两组数码。然后，等我在某个家伙的办公室里讨论物理问题的时候，我就倚着他打开的文件柜，就跟人在谈话的时候，漫不经心地摆弄钥匙似的。我不过是在前前后后、来来回回地扭密码轮而已。有时我用手指头去摸锁闩，所以我也不需要看看它是不是从凹槽里出来了。用这种办法，我搞来了好些文件柜的后两组数码。我回到自己的办公室，就把这些数字写在一张纸上，藏在我的文件柜里。每次我要看那张纸的时候，都要把锁拆开——我觉得把它藏在这地方，是安全的。

过了一阵子，我的名声传扬开了，因为下面这种事儿是会发生的。有人会说："费曼，克里斯蒂出城了，我们需要他保险柜里的一份文件——你可以打开吗？"

如果我知道我没有那个保险柜的后两组数码，我就敷衍道："抱歉，可我眼下腾不出身啊；我得把这个工作做完。"如果我有那两组数，我就说："好的，可我得去找工具。"我不需要什么工具，但我要回我办公室，把我的文件柜打开，把那张纸拿出来："克里斯蒂——35，60。"然后，我带着把螺丝刀，到克里斯蒂办公室里，顺手把门带上。很明显，不是每个人都可以看我是怎么弄的！

我一个人待在那儿，几分钟就把保险柜打开了。我要干的，仅仅是最多需要20分钟搞到第一组数码，然后坐下来看杂志什么的。让人看出这事儿很容易办，那又何必；有人会琢磨出这其中必定有窍门！过一阵子，我开了门，说："开了。"

大家以为我能把保险柜打开，每次都要摸索。我能把锁打开，是碰巧了，让他们那样想好了，那都是因为和斯塔雷的那次偶然的事儿。没人琢磨出我把他们保险柜的后两组数码搞了去，尽管我一直这么搞，或许正是因为我一直这么搞，他们才不知道，就像一个靠玩扑克骗钱的骗子一样，走哪儿都带着一副扑克。

我经常到橡树岭检查铀工厂的保密工作。一切都是匆匆上马，因为那是战时。有一次，我非得在周末去不可。那是个星期天，我们在那个家伙的办公室里——一个将军，一个头儿，或者某个公司的副总裁，几个大人物什么的，还有我。我们聚在那儿讨论一份报告，这报告在这家伙的保险柜里——一个机密保险柜——他那时突然意识到他不知道密码。知道密码的，只有他秘书一个人，于是他给她家里打电话，结果她到山上野餐去了。

正当这么折腾着的时候，我说：“要是我来摆弄一下这保险柜，你不介意吧？”

“哈、哈、哈——一点也不介意！”我就走到保险柜那儿，开始捣鼓。

他们开始商量，从哪儿弄辆车去找找那个秘书。那家伙越来越尴尬，因为他让大家在这儿空等，他是这么一头蠢驴，连自己的保险柜都打不开。在场的每个人都烦了，都跟他急眼，正在此时，啪啦！——保险柜开了。

在10分钟之内，我就把这个装着和工厂有关的全部机密文件的保险柜给打开了。他们目瞪口呆。这保险柜显然不怎么保险啊。这可是沉重的打击啊：所有这些“只可阅读、不可带走”的东西，这些绝密文件，锁在这么一个美妙的机密柜里，而这个家伙，10分钟就把它打开了！

我当然能把这个保险柜打开，因为我搞走人家保险柜的后两组密码，都成了习惯。我在前一个月来橡树岭的时候，来过这个办公室，其时这个保险柜开着呢，我呢，就漫不经心地把它的两组数码弄出来了——我总在操演我的这个嗜好。尽管我没把数码写下来，但我还能模模糊糊地记得。第一次，我试了40-15，然后试了15-40，但这都不管用。然后我试了10-45，和可能的第一组数码一起试，于是就打开了。

在另一个周末，还是在橡树岭，发生了一件相似的事儿。我写好了一份报告，这报告必须让一个上校认可，而报告放在他的保险柜里。这里的每个人都把文件放在像洛斯阿拉莫斯那样的文件柜里，但他是个上校啊，所以他的柜子花花儿得多：两扇门，装了两个把手，把手把四个2厘米粗的钢制锁闩从构架上拉了回来。大黄铜门晃开了，他把我的报告拿出来读。

我还没有机会见识一下这么好的保险柜呢。我对他说："在你读报告的时候，我看看你的保险柜，介意吗？"

"随你看。"他说，确信我做不了什么事。我看了看一扇厚重的黄铜门的背后，发现那个密码轮连着一个小锁，这小锁就跟我在洛斯阿拉莫斯的文件柜上的那个小部件一模一样。同一个公司，同样的小闩子，不同的仅仅是：这里的锁闩下来的时候，保险柜上的大把手能把一些钢棍拨到侧路上，而且借助一串杠杆，你可以把那些2厘米粗的钢棍拉回原处。这整个的杠杆系统，依靠的仍然是把我的文件柜锁住的那样一些小闩子。

仅仅是出于职业完美主义的原因，为了确定这个保险柜实在没什么两样，我把它的两组密码弄到手了，方法和我从其他文件柜上搞密码一样。

与此同时，他在那里读报告呢。读完了，他说："行，不错。"他把

文件放在保险柜里，抓着那两大把手，把两扇大黄铜门晃上。关门的声音，铿然悦耳，但我知道那全是心理战术，因为它除了是同样的破锁之外，什么也不是。

我禁不住想刺挠刺挠他（我对军队里的家伙总有看法，瞧这身神气活现的军装），我就说："从你关这保险柜的派头来看，我猜，你觉得东西放那儿，挺安全。"

"那还用说。"

"你觉得东西放那儿挺安全，唯一的理由，是因为老百姓把那玩意儿叫作'保险'柜。"（我在这节骨眼儿上用了"老百姓"这词儿，听起来好像他已经被老百姓愚弄了似的。）

他非常恼火。"什么意思啊，你——它不保险？"

"开锁的好手，30分钟就弄开它。"

"你能30分钟把它弄开吗？"

"我说的是开锁好手嘛。我来开，大约需要45分钟。"

"也罢！"他说，"俺老婆在家等俺吃晚饭来着，可俺打算待在这儿看看热闹。你给我坐那儿，弄那倒霉玩意儿弄上45分钟，要是弄不开的话……"他坐在他的大皮椅子上，把脚翘在写字台上，看起报纸来。

我信心十足，拉了把椅子，坐在保险柜前头。我开始随机转动密码轮儿，这是故作姿态而已。

约莫5分钟之后，当你坐着等的时候，5分钟显得好长，他有点儿不耐烦了："我说，进展如何？"

“对付这么个东西，开就彻底开了，否则就是开不了。”

我琢磨着，再过一两分钟，也就差不多了，于是我就真用心地开它，两分钟之后，啪啦——开了。

上校的下巴掉下来了，眼珠子爆出来了。

“上校，”我说，语气严肃，“让我跟你说点儿这些锁的事儿。在保险柜的门敞着的时候，或者顶上的那个抽屉拉开的时候，把密码弄到手，易如反掌。就在你读报告的时候，我正弄这事儿呢，仅仅是为了表明这种危险。你应该坚决要求大家在工作的时候，把抽屉锁上，因为抽屉敞着，这柜子真是不堪一击呀。”

“敢情！我明白你什么意思。这事儿好玩哈！”从此，我们站在了同一立场上。

下次我到橡树岭的时候，那儿的秘书，那儿的人，知道我是何许人也，老对我说：“别打这儿过！别打这儿过！”

原来，上校已经给工厂的每个人发了通知，通知说：“在费曼先生上次来访期间，在任何时间，他是否进过你的办公室，是否靠近过你的办公室，或者是否穿过你的办公室？”有些人说是，另一些说否。那些说是的，又得到了个通知：“请更改你保险柜的密码。”

那就是他的解决方案：我成了危险。因此，由于我，他们全体都不得不更改密码。更改密码，再记住新密码，这事儿真是可恼啊，因此他们全体都跟我急了眼了，不想让我靠近他们：他们或许还得再次更换密码。当然，在他们工作的时候，抽屉仍然敞着！洛斯阿拉莫斯有个图书馆，藏着我们工作的全部文件：那里有一个坚固的水泥房间，有一扇漂亮的大门，门上有个能转的轮子——跟银行金库似的。在战争期间，我曾想凑近看看。我认识在那儿当图书馆员的那个女孩儿，我求她让我玩

玩那门。我对这门着了迷：它是我见过的最大的锁！我发现，我要想进去，用搞到两组密码的那老办法，不灵了。在门敞着的时候，我一扭把手，实际上是把锁锁上了，锁头伸出来了，没办法再把门关上，偏得等那女孩儿来再打开锁才成。我就此罢手，不再玩那锁了。我没工夫琢磨这锁是怎么工作的；它大大超过了我的本事。

在战后的那个夏天，我有一些文件要写，有些工作要扫尾，所以我从康奈尔大学回到了洛斯阿拉莫斯（那年我在康奈尔大学教书）。我工作到中间，必得引用我以前写的一个文件，但我记不得了。那文件就在那个图书馆里。

我到那儿去找那个文件，那儿有个当兵的，走来走去的，还有枪呢。那是个星期六。在战后，这图书馆星期六不开门。

于是我记起了我很要好的一个朋友，弗里德里克·德·霍夫曼（Frederic de Ho man）做的事儿。他是“解密部”的。战争之后，军队考虑着把某些文件解密，他不得不来来回回跑那个图书馆——看看这个文件，看看那个文件，检查这个，检查那个——简直快要发疯！他于是就把每一份文件——关于原子弹的全部文件——都拷贝了，放在他办公室里的九个文件柜里。

我到了他办公室，灯亮着呢。看来那儿有人——或许是他的秘书——刚出去几分钟，于是我就等。我一边等，一边开始捣鼓一个文件柜上的密码轮。（插一句，我不知道德·霍夫曼文件柜后两组密码。这些文件柜是在战后、在我离开后送来的。）

我开始玩其中的一个密码轮儿，开始想那几本开锁的书。我心里想：“我从来没把书里写的那些招数放在眼里，因此我也没试过，那就让咱们试试，照书上的点子，看咱能不能打开霍夫曼的保险柜。”

第一招，秘书：她担心把密码忘了，就把密码写在什么地方。我开始踅摸书里提到的几个地方。写字台抽屉锁着，但那锁是列奥·拉法特里教我开的那种普通锁——啪地一声就开了！我看了抽屉边儿：什么没有。

然后，我翻看秘书的文件。我找到了一张纸，所有秘书都有这种纸，整整齐齐地写着希腊字母——以便她们能在数学公式里能认出这些字母——还注了音。就在那儿，沿着纸的上缘，漫不经心地写着π=3.14159。好了，六位数，那么为什么秘书必得知道圆周率的数值呢？明摆着的；没别的理由！

我走到文件柜那儿，试第一个：31-41-59。没开。然后，我试59-41-31。也不灵。然后，95-14-13。往前，往后，头朝下，这么摆，那么放——都不管用！

我把写字台抽屉关了，走到门外，又想到了开锁的书；其次，试试心理法。我对自己说："弗里迪·德·霍夫曼，铁定是那种用数学常数当保险柜密码的家伙。"

我回到第一个文件柜那里，试27-18-28——啪啦！开了啊！（在重要性上仅次于圆周率的数学常数，是自然对数的底，e：2.71828……）有九个文件柜，我已经把第一个开了，但我要的文件不在里面——柜子是按作者名字的字母顺序排的。我试着开第二个柜子：27-18-28，啪啦！密码相同，也开了。我想，"妙哉！我已经打开了关于原子弹的机密文件，但是，如果我在将来要讲这故事的话，那我一定得拿准全部密码真的一个样儿！"有几个文件柜在下一个房间里，于是我就在其中的一个柜子上试27-18-28，开了。现在，我已经开了三个保险柜——全是一样。

我心里想："现在，我现在可以写一本开锁的书了，管保打遍天下

无敌手，因为，在开头，我会讲我是怎么打开那些内容更牛、更有价值的保险柜的，任何地方的任何开锁匠开过的保险柜，里头的东西都没办法跟这个比——柜子里关的是人，就另当别论了——比毛皮或者金砖厉害。我把他们都比下去了，我开的保险柜，装着和原子弹有关的全部机密：钚的生产程序，纯化工序，需要多少材料，原子弹是怎么工作的，中子是怎么发生的，原子弹是怎么设计的，尺寸是多大——洛斯阿拉莫斯那地方所知道的全部情报：一应俱全！”

我返回第二个文件柜，拿出了我需要的那份文件。然后，我拿了一支红铅笔，在办公室里到处都是那种黄纸片上写道：“借用编号LA4312文件一份——撬锁贼费曼。”我把这纸片放在一摞文件顶上，把柜门关上。

然后，我到我打开的第一个柜子那儿，写了另一张纸条：“这个柜子也并不比另一个难开——聪明的家伙”，把柜子关上了。

然后，在另一个房间里的另一个柜子里，我写道：“要是密码全都一样，那就全都容易开——同一个家伙。”我也把这个柜子关了。我返回我的办公室，写我的报告。

那天晚上，我去了咖啡馆吃晚饭。弗里迪·德·霍夫曼在那儿。他说他要到办公室去工作，所以我就跟他去了，仅仅是为了好玩。

他开始工作了，不一会儿他就到了另一个房间去开那里的一个文件柜——这事儿，我倒没想到——他先开的柜子，碰巧是我放第三张纸条的那个。他开了抽屉，看到了那个异物——那个黄灿灿的纸条，上头还用鲜红的铅笔涂鸦了什么玩意儿。

我在书上看到过，说是受了惊吓的人，脸会变成菜色，但我以前还没见识过。敢情，绝对是真的。他脸发灰了，接着变成了黄绿色——他

那样子，真是可怕。他拿着这个纸片，手在哆嗦，“看……看……看这是什么啊！”他说，浑身筛糠。

纸条上说：“要是密码全都一样，那就全都容易开——同一个家伙。”

“这是什么意思啊？”我说。

“我保险柜的密……密啊……密码，全是一……一……一样的！”他连话都说不成个儿了。

“那可不是个好主意哦。”

“现……现在我……我知道了。”他说，抖作一团。

血液从脸上流走的另外一个效果，一定是脑子不灵。“他还签了名，还签了名啊！”他说。

“什么？”（我名字没在这张上面啊。）

“没错，”他说，“和那个一直企图闯入欧米伽大楼（Omega Building）的家伙，是同一个人！”

在整个战争期间，甚至在战后，总有传言说：“有人一直企图闯入欧米伽大楼！”你知道，在战争期间，他们为了原子弹在做实验，想得到足够的材料，以便把材料聚拢起来发生连锁反应。他们把一块儿材料，扔到另一块儿上，让它从另一块儿中间穿过，当它穿过去的时候，反应就会发生，他们就测量得到了多少中子。那一块材料从另一块材料中间落得太快，因此没什么东西能够聚集起来，也不会爆炸。但，他们需要足够强烈的反应，那样他们才能知道事情真的以正确的方式发生了，才能知道一切都按预期的那样进行——这实验太危险！

他们自然不会在洛斯阿拉莫斯镇中心做这个实验，而是在好几英里开外、翻过好几个台地的一个峡谷里，一切都封锁了。这座欧米伽大楼也围着栅栏，还有岗楼呢。在夜半时分万籁俱寂的时候，兔子会从草丛中窜出来，闯到栅栏上，弄出一些动静来。卫兵开枪。执勤的中尉走过来了。卫兵能怎么说——不过是只兔子？那不成。“有人一直企图闯进欧米伽大楼，我把他吓跑了！”

所以呢，德·霍夫曼面如死灰、浑身发抖，他没意识到他的逻辑里有漏洞：那个一直企图闯进欧米伽大楼的家伙，和站在他身边的这个家伙，究竟是不是同一个家伙，这事儿还不清楚呢。

他问我，这该如何是好。

“得，看看少没少文件。”

“看样子没事儿，”他说，“我看不出少了什么。”

我设法把他领到我从里面取了文件的那个柜子那儿。“哦对了，如果全部密码是相同的，备不住他会从另外一个抽屉里拿点儿什么。”

“是啊！”他说，他回到自己的办公室，把第一个文件柜打开，发现了我写的第二个条子：“这个柜子也并不比另一个难开——聪明的家伙。”

到那时候，作孽的究竟是“同一个家伙”还是“聪明的家伙”，并无区别：他完全明白，就是那个一直企图闯进欧米伽大楼的家伙。因此，要说服他把我放第一张纸条儿的那个文件柜打开，还真费劲。我记不得我说了什么，把他说动了。

他打开那柜子，于是我就往门厅那儿溜，因为我有点儿害怕了。等他发现是谁给他搞的这一套，他会割断我喉咙！

不出所料，他把我追到了门厅。他倒没发怒，却是实实在在地搂住了我，因为他心里完完全全地一块石头落了地：原子弹机密失窃，不过是我的一场恶作剧啊。

几天后，德·霍夫曼告诉我，他需要从克斯特的保险柜里取个东西。唐纳德·克斯特（Donald Kerst）回伊利诺伊州去了，很难找到他。“如果你用心理方法能打开我全部的保险柜，”德·霍夫曼说（我已经告诉过他我是怎么弄的），“或许你也能这样把克斯特的保险柜弄开。”

到那个时候，这故事已经到处传扬了，因此好几个人都过来看热闹，看我打开克斯特的保险柜的这一匪夷所思的过程——我对这柜子是陌生的。没必要避着人了。我没有克斯特保险柜的后两组密码；要运用心理方法，我需要周围认识克斯特的人。

我们大家都到了克斯特的办公室，我检查了抽屉，希望能发现线索：什么也没有。然后，我问他们，“克斯特会用哪种密码——数学常数吗？”

“啊，不！”德·霍夫曼说，“克斯特干的事儿，非常简单。”

我试了10-20-30，20-40-60，60-40-20，30-20-10。不灵。

然后，我说：“你们觉得他会用什么日期吗？”

“没错儿！”他们说，“他这种家伙，就是用日期的主儿。”

我们试了若干日期：8-6-45，原子弹爆炸的日子：86-19-45；这个日期；那个日期；原子弹项目的启动日期。什么也不管用。

到这个时候，大多数人都溜了。他们没耐心看我捣鼓这一套，但解

决这类事儿，唯一的办法就是耐心！

然后，我决定把大约1900年以来到现在所有特别的日期都试一遍。这听起来不老少，但没多少，第一组数是月份，1～12，我只试3个数，10、5和0。第二组数是日，1～31，我可以试其中的6个数。第三组数是年，到当时只有47个数，我可以试其中的9个数。因此，8000个可能的密码被缩减为162个，我在15～20分钟之内就可以试完。

幸运的是，我是从12月份这头开始的，因为到最后我把柜子打开的时候，密码是0-5-35。

我转过头问德·霍夫曼："1935年1月5号前后，对克斯特有什么特别的？"

"他女儿是在1936年出生的，"德·霍夫曼说，"那想必是她的出生日了。"

现在，我已经把两个陌生的保险柜打开了。我越发老练了。现在，我到专业水平了。

还是战争结束后的那个夏天，资产部的那个家伙，打算把政府买的一些东西收回去，再当剩余物资卖掉。其中有一件是上尉的保险柜。我们都认识这个保险柜。这位上尉，是在战争期间来的，断定那些文件柜对他将要搞到的那些机密文件是不够安全的，因此他必得要一个特别的保险柜。

我们的办公室都在一些稀松的木头楼里，上尉的办公室在一个木头楼的二楼上，他订购的那个保险柜是个钢造的、很重的保险柜。工人不得不先搞了木头底座，再用特别的起重机把它弄上台阶。因为我们没什么娱乐活动，大家都在看热闹，看这个大保险柜，费那么大劲，移往他的办公室，大伙儿都在开玩笑，说他会把什么机密藏在这个保险柜里

啊。有个伙计说，倒不如把我们的东西放在他的保险柜里，让他把他的东西放在我们的保险柜里。因此，大家都知道这个保险柜。

资产部这主儿，想把它卖掉，但首先得把里头的东西拿出来。知道密码的人，那位上尉是一个，可他在比基尼（Bikini）[38]；阿尔瓦雷茨（Alvarez）[39]也知道，可他忘了。那主儿就求我打开这个保险柜。

我到了他办公室，对那个秘书说："为什么不给那个上尉打个电话，问他密码啊？"

"我不想打扰他。"她说。

"哦，你倒要打扰我打扰八小时。除非你打打电话，否则本人不伺候。"

"行啊，行啊！"她说，她拿起电话，我进了另一个房间，看那个保险柜。就是这玩意儿，那个巨大的、钢制的保险柜，它的门大开着呢。

我回到秘书那儿："开了。"

"神了喂！"她一边放电话，一边说。

"没什么神的，"我说，"本来就是开着的。"

"哦！我猜呀，资产部毕竟也能把它打开。"

我跑到资产部找那主儿。"我去看了那柜，本来就开着嘛。"

"啊对，"他说，"抱歉我忘告诉你了。我们把我们的固定锁匠叫到那儿，打算钻开它；但在开钻之前，他想试试能不能打开，他把它打开了。"

原来如此！第一项情报：洛斯阿拉莫斯现在有固定锁匠啊。第二项情报：这人知道怎么钻保险柜，我对此倒一无所知。第三项情报：他能打开陌生的保险柜——在几分钟之内。这是个货真价实的职业选手，一个货真价实的情报来源啊。这家伙，我得会会。

我发现他是个锁匠，战后他们雇了他来处理这种事儿（战后他们不怎么担心安全问题了）。原来他没多少开锁的活儿，所以他也修理我们用过的那些计算器。在战争期间，我一直在修那些玩意儿——所以我有门路去会会他。

我去见人，从来不会鬼鬼祟祟、拐弯抹角的；我径直走过去，自我介绍。但目前这档子事儿，会会这主儿蛮重要的。我也知道，我要是不向他显显本事，他是不会告诉我开保险柜的秘诀的。

我找到了他的房间在什么地方——在理论物理学部的地下室里，我就在那儿工作——我还知道他在晚上工作，没人在晚上用那些机器。因此，首先，我在晚上经过他门口到我的办公室。如此而已；我不过是打那儿走过去罢了。

几个晚上之后，都不过是“嗨”，打个招呼。过了一阵子，他认出打这儿走过的，是同一个家伙，他说“嗨”，或者“晚上好”。

这过程太慢，持续了几个星期，然后我看到他在修玛珍计算器。关于计算器，我什么也没说；还不到说话的时候。

我们之间话逐渐多了一点儿：“嗨！我看你干活，蛮卖力气的！”

“敢情，蛮卖力气！”——如此而已。

最后，出现了一个突破：他请我喝汤。现在我们相处融洽。天天晚上我们都在一块儿喝汤。现在，我开始说了一点儿加法机的事儿，他说

他遇到了个麻烦。他一直想把一组带弹簧的轮子装回到那个轴上，可他没有顺手的工具什么的；他已经为这事儿忙了一个星期了。我告诉他，在战争期间，我就是用这些机器工作的。“我会告诉你是怎么回事儿：今天晚上，你把这机器放那儿就成了，我明天瞧瞧它。”

“好。”他说，因为他已经没辙了。

第二天，我看了这个鬼东西，想用手抓着那些轮子把它们安回去。它总是啪啦一声跳回来。我心里想：“如果他试同样的办法试了都一个星期了，我也试了，可办不到，那就不是个正确的搞法！”我停下来，仔细看它，我注意到，每个轮子上都有个小洞——仅仅是个小洞。我恍然大悟：我把第一个轮子弹了上去；然后，我把一段铁丝穿在那个小洞里；然后，我把第二个轮子弹上去，再在它的小洞里穿铁丝。然后，下一个，下一个——跟往线上穿珠子相似——我试了头一次，就把整个东西装上去了，装得整整齐齐，把铁丝抽出来，一切都办妥了。

那天晚上，我让他看那个小洞，让他看我是怎么弄的。打那儿以后，我们谈机器谈得多了去了；我们成了好朋友。他办公室里有许多小格架，里头都是拆到一半儿的锁，还有保险柜锁的零件。哇，漂亮啊！但我仍然没提锁和保险柜的事儿。

最后，我琢磨着，日子到了，于是我决定抛出个诱饵，关于保险柜的：关于保险柜，我会告诉他一桩让他瞧得上眼的事儿——当保险柜开着的时候，你是能把它后两组密码搞到手的。“嗨！”我看着那些小格架说。“你在捣鼓摩勒斯保险柜啊。”

“是啊。”

“你知道，这些锁啊，不堪一击。

如果保险柜开着，你是能把它后两组密码搞到手的……”

“你能？”他说，终于表现出一点儿兴趣来了。

“是啊。”

“让我看看怎么弄。”他说，我给他演示怎么弄，他把头转朝我。“尊姓大名？”到那时候，我们还没互相通名报姓呢。

“迪克·费曼。”我说。

“我的个老天爷！”他颇为敬畏地说，“开锁大家啊！久闻大名，如雷贯耳；真是相见恨晚啊！我想向您请教，怎么开保险柜。”

“这话儿怎么说的？你知道怎么开保险柜。”

“不知道。”

“听着，上尉的那个保险柜的事儿，我听说过。这一次，我动了这么大心思，因为我想跟你会面。你可倒好，告诉我你不知道怎么开保险柜。”

“真不会。”

“得，那你必定知道怎么钻保险柜。”

“那个我也不知道啊。”

“什么？”我叫起来，“资产部那主儿说，你带着家伙，去钻上尉的那个保险柜来着。”

“假定您是吃开锁匠这碗饭的，”他说，“一个家伙过来让你去钻个保险柜。你怎么办？”

“我嘛，”我回答，“我就装模作样地把我的家伙备齐了，带着家伙

去找那保险柜。然后呢，在保险柜上随便找个地方，呜呜呜呜呜呜呜呜呜，一通乱钻，饭碗就保住了。”

“确确实实，我就这么干的。”

“但你把它打开了啊！你必定知道怎么开保险柜。”

“哦，是啊。我知道那些锁，在出厂的时候，设置的密码是25-50-25或者50-25-50，我就想啦，‘谁知道，或许那家伙懒得换密码呢’，第二个密码果然管用。”

因此，我确实从他那儿学到了东西——他开保险柜，和我用的是相同的妙法。但更好玩儿的是，那个牛气冲天的上尉，必得要一个超级保险柜，兴师动众，费那么大劲，把这玩意儿吊到他办公室，可他自己却懒得重设密码。

我一个接一个地走访我们楼里的办公室，试那两个出厂密码，五个保险柜，我就能打开一个！

山姆大叔不要你了

战争之后，军队千方百计让大伙儿去充当在德国的占领军。在那之前，军队还考虑大家身体之外的原因而准予延缓服役（我可以延缓服役，因为我为原子弹工作过），可是现在他们翻云覆雨，要每个人都首先接受体检。

那个夏天，我在纽约州斯卡奈塔第市（Schenectady）的“通用电器公司”（General Electric）为汉斯·贝特工作。我记得，我不得不走老远的路——我想是到奥尔巴尼（Albany）[40]——去体检。

我到了征兵的那地方，得填许多表格，然后我到各个不同的体检棚子去。他们在一个棚子里查视力，在另一个棚子里查听力，又在别的一个棚子里采血样，等等。

说着说着，最后你来到了第十三号棚子：精神病医生的棚子。你等在那儿，坐在长条椅上。我在那儿等的时候，可以看到他们都在干什么。有三张桌子，每张桌子后边都坐着个精神病医生。“犯人”呢，只穿着裤衩儿，坐在精神病医生对面，回答各式各样的问题。

那时，有许多讲精神病医生的电影。比方说，有一部《爱德华大夫》（*Spellbound*），里头有个女的，曾经是个伟大的钢琴家，现在呢，双手五指张开，动弹不得，家人就找了个精神病医生来帮她的忙，那个精神病医生和她一块儿到了楼上，进了一个房间，你看到他随手把门关上了，楼下呢，一家人在吵吵会出什么事儿，然后，她从那房间里出来了，手还是那样怪可怕地张着，颇为戏剧性地走下楼梯，走到钢琴那儿，坐下，把手举到琴键上，突然之间——可叮当叮，当、当、当——她又能弹了。嚯，我受不了这些聊斋故事，我拿得准，精神病医生都是骗子，我可不和这些人打交道。因此，轮到我和那个精神病医生谈话的时候，我就这心态。

我靠桌子坐下来，那个精神病医生开始浏览我的文件。“哈喽，迪克！”他用一种挺愉快的语调说，“哪儿工作呀？”

我在想：“他以为自己是个什么东西，我的昵称，也能是他乱喊的？”我呢，冷冷说道：“斯卡奈塔第。”

“哪个单位的呀，迪克？”精神病医生说，又挂着三分笑。

“通用电器。”

“喜欢你的工作吗，迪克？”他说，脸上仍然是腻味人的笑容。

“一般般吧。”我就是不想跟他套词儿。

三个可爱的问题，接着，第四个问题，彻底变味儿了。“你认为大家都在谈论你吗？”他问，声调儿低沉，严肃。

这我倒来了精神，说：“可不是咋的！我回家的时候，我妈经常告诉我，她是怎么怎么跟她的朋友们讲我的事儿来着。”他不听我解释，却在我的文件上写下了什么东西。

然后，又来了，声调儿低沉，严肃，他说：“你认为大家都盯着你吗？”

我刚要说不认为，他却说：“比方说，你认为那些坐在那边儿长条椅上的小伙子，现在都在盯着你吗？”

刚才我坐着等和这个精神病医生谈话的时候，我注意到长条椅上坐着大约12个家伙在等这仨精神病医生检查，他们也没什么别的东西可看的嘛。我就用12除以3，每个医生检查4个，可我保守着点儿，所以我说：“是啊，或许他们当中有两个人在看着我们。”

他说：“那你转过头去看看。”——他自己却懒得看看！

于是我就转过头去，果然，两个家伙在看。所以我就指着他们，说：“是啊——那个家伙，还有那边儿那个家伙，在看我们呢。”当我转过头的时候，那个样子拿手指着人家，其他人当然就开始看我们，所以我说：“现在，他，那边儿还有两个——现在椅子上的人都在看啊。”他仍然不抬头看看我说的对不对。他忙着在我的文件上写下了更多的东西。

然后，他说：“你在你脑袋里听到有人说话吗？”

“很少。”我正要告诉他，有那么两次，确有这样的事儿，可他说：“你自言自语吗？”

“是啊，有的时候，我在刮脸的时候，或者在想问题的时候；偶尔吧。”他又写了更多的东西。

“我知道你妻子去世了——你和她说话吗？”

这问题真把我惹恼了，但我耐住性子，说：“有的时候吧，我到山上去的时候，就想她。”

他又写。然后，他问：“你有没有家庭成员住在精神病院？”

“敢情，我有个姨妈，在疯人院里。”

“你为什么把那个叫作疯人院？”他说，怫然不悦，“你为什么不把那个叫作精神病院？”

“我觉得那是同一个玩意儿。”

“那你认为精神错乱是怎么回事？”他生气地说。

“那是人类的一种怪异的疾病。”我说得很真诚。

“它比盲肠炎也没什么怪异的！”他反驳。

“我不这么认为。就盲肠炎而言，我们理解它的起因，理解得好得多，理解它的机理是怎么回事儿。可说到精神错乱，事情就复杂得多，也神秘得多。”我不必在这里把这整个的辩论讲一遍；我的意思是，精神错乱在心理学上是怪异的，他却以为我是说，社会认为精神错乱是怪异的。

直到那时，尽管我对那个精神病医生一直不友好，但我说的一切，还是认真的。但是，当他要我把两只手伸出来的时候，我就忍不住要耍花招了。这个花招，是我在排队“抽血”的时候，有个家伙告诉我的。我琢磨着，没人能得着个机会玩这个把戏。我呢，索性破罐子破摔，我准备玩儿它一玩儿。于是，我就把两只手伸出来，一只掌心向上，一只掌心朝下。

那个精神病医生没注意到这个，他说：“把手翻过来。”

我把两只手都翻过来了。掌心向上的那只，变成了掌心朝下；掌心朝下的那只，变成了掌心向上。他还是没注意到，因为他一直都在专注地看着一只手，看它是不是发抖。因此，这把戏没玩儿成。

最后，问题都问完了，他又变得友好了。他有兴致，说：“我看到你有博士学位，迪克。你是在哪儿上的学？”

“麻省理工和普林斯顿。你是在哪儿上的学？”

“耶鲁和伦敦。你学的是什么，迪克？”

“物理。你学的是什么？”

“医学。”

“这是医学？”

“怎么，是啊。那你以为它是什么？你到那边去坐了，等几分钟。”

我于是又坐在长条椅上，在那儿等着的一个家伙，凑过来说：“嚯！你在那儿磨蹭了25分钟！别的家伙也就5分钟！”

“是啊。”

“嗨，”他说，“你知道怎么涮那些精神病医生吗？你只需要咬指甲就可以了，像这样。”

“那你为什么不像那样咬你的指甲？”

“哦，”他说，“我真想参军呢！”

“你想涮那几个精神病医生吗？”我说，“你只要把你刚才说的告诉他就行了。”

过了一阵子，有人把我招呼到一个不同的桌子那儿去见另外一个精神病医生。头一个精神病医生很年轻，天真无邪的样子；这一位，头发灰白，神态不凡——显然是老资格的精神病医生。我琢磨着，这一切该到了摆平的时候了，但无论会发生什么事儿，我是不打算待见他们的。

这第二个精神病医生看了我的文件，满脸绽笑，说：“哈喽，迪克。我知道，在战争期间，你在洛斯阿拉莫斯工作。”

“没错儿。”

“以前那儿有一所男子中学，对不对？”

“对。”

“那学校里有很多建筑？”

“只有几座。”

三个问题——一个技巧——下个问题，完全变味儿了。“你说，你在你脑袋里听到人说话。请说说看。”

“这种事儿，不常见。在我很注意一个说话带外国味儿的人说话的

时候，到我入睡的时候，我听见他的声音，听得很清楚。第一次发生的时候，我还在麻省理工学院念书。我听见一个老教授法拉塔（Vallarta）说，‘则个则个电场啊。’另一次是在芝加哥，在战争期间，那时特勒教授在跟我解释那个炸弹是怎么工作的。因为我对各种各样的现象都感兴趣，我就纳闷啊，我听这些带外国口音的声音，怎么能听得这么真切，可我模仿他们却模仿得不那么好……人人都会有这样的事儿吗？”

这个精神病医生把手捂在脸上，在他的指头缝儿之间，我看到了那么一丝笑容（他不回答这个问题）。

然后呢，这个精神病医生检查了别的什么东西。“你说你和你去世的妻子说话。你对她说什么？”

我火了，我琢磨着，我说什么，关你个屁事儿，我说：“我告诉她我爱她，希望这没碍着你什么事儿！”

一来一往地互相说了几句刻薄话之后，他说：“你相信超正常现象吗？”

我说：“我不知道什么是‘超正常’现象。”

“什么？你，一个博士，学物理的，不知道什么是超正常现象？”

“不知道。”

“那就是奥利弗·洛奇（Oliver　Lodge）爵士[41]和他的学派所相信的那个东西嘛。”

这不算什么提示，但这事儿，我知道。“你说的是超自然现象？”

“你愿意那么叫它，就那么叫呗。”

“那好，我愿意那么叫它。”

“你相信心灵感应吗？”

“不相信。你信吗？”

“我嘛，我总是宽容而无偏见。”

“什么？你，一个精神病医生，总是宽容而无偏见？哈！”就这么彼此较劲，折腾了好一阵子。

然后，到将近结束的时候，“你觉得生命值多少？”

“64。”

“为什么说是‘64’？”

“你要我说出个数来，为生命定价，又有什么道理？”

“不是这样！我的意思是，为什么你说‘64’，而不是‘73’，比方说？”

“如果我说了‘73’，你还不是问同样的问题！”

这个精神病医生用三个友好的问题收场，别的精神病医生也是这么做的，把我的文件递给我，我就到了下个棚子去。

在我排队等着的时候，我在看文件，上面写着到目前为止我接受的所有检查的结论。完全是为了恶作剧，我把我的文件给我后边的那家伙看，我用一种愚蠢的声调儿问他：“嗨！你的‘精神病科’得了什么？哦！你得了个‘N’。我别的东西都得‘N’，但‘精神病科’得了个‘D’。那什么意思啊？”我知道那什么意思：“N”是正常，“D”是有缺陷。

那家伙拍着我的肩膀说："哥们儿，挺不错的。那说明不了什么。别为那个操心！"然后，他走到这房间的另一个角落里，吓坏了：这是个疯子啊！

我开始看那几个精神病医生写了字的文件，看起来情况颇为严重！第一个家伙写道：

以为人们谈论他。

以为别人盯他。

睡前幻听。

自言自语。

与去世的妻子谈话。

姨母在精神病院。

眼神非常怪异。（我知道这是什么意思——当我说"这是医学？"的时候，眼神确实怪异。）

第二个精神病医生显然更重要，因为他字如蟹腿，更难辨认。他写了些"确定有睡前幻听现象"之类的话。（"睡前"这个词儿，意思是你正在沉沉入睡的时候，你有幻听。）

他写了许多听起来很专业的东西，看起来颇为糟糕。我琢磨着，我一定得想想办法，得跟军队澄清这些事儿。

到整个体检结束的时候，有个军官来决定你是参军还是淘汰。比方说，如果你听觉有毛病，他来决定那是不是真严重到不能参军的程度。因为军队是不遗余力地要扩充兵员，这个军官是不会轻易放过你的。他

像根钉子似的不肯通融。比方说，我前边的那伙计，脖子后头有两块儿骨头凸出来——脊椎移位什么的——这军官不得不从桌子后头站起来，拿手去摸那两块儿骨头——他得搞清楚那是不是真的！

我琢磨着，这是我澄清误解的地方了。轮到我的时候，我把文件递给军官，正要跟他把一切解释清楚，可这军官，头也不抬。他一眼就看到了“精神病科”后面的那个“D”，伸手就去摸“拒收”的大印，连问题都不问，什么也不说；利利索索地在我的文件上盖了“拒收”的戳子，然后把我那4-F（征兵体检不合格）的文件递给我，眼却还是盯着桌子。

所以呢，我就出去了，上了去斯卡奈塔第的公共汽车。我坐着车，琢磨刚才发生的这些荒唐事儿，不禁失笑——都笑出声了——我对自己说：“我的老天爷！要是他们看见我现在这副样子，那就更确信无疑了！”

等我最后到了斯卡奈塔第的时候，就去看汉斯·贝特。他在写字台后头坐着，他开玩笑地对我说：“怎么样，迪克，通过了？”

我拉长个脸，慢慢地摇摇头：“没通过。”

他突然很紧张，以为他们发现我有什么重病，他就以关切的口吻问我：“怎么回事儿，迪克？”

我拿手支着我脑门子。

他说：“没那么严重吧！”

“就那么严重！”

他叫起来：“没……那……么……严……重！”他笑得山响，通用电器公司的屋顶差点儿给震塌下来。

我把这故事讲给许多人听，人人都笑，但有几个例外的。

我回纽约的时候，我爸爸、妈妈和妹妹都到机场接我，坐车回家的路上，我把这故事整个讲给他们听了。末了，我妈妈说：“嗨哟，这可该怎么办啊，迈尔（Mel）？”

我爸爸说：“你别犯蠢，露西尔（Lucille）。简直是胡闹嘛！”

事儿就这样了，可后来我妹妹告诉我，等我们到家，我不在场的时候，我爸爸说：“听着，露西尔，你不该当着他的面儿说那些个。现在，这可该怎么办？”

但到那个时候，我妈妈已经冷静下来了，她说：“你别犯蠢，迈尔！”

还有一个人，这故事让他闹心。事情是在“物理学会”的会议饭桌上，斯莱特（Slater）教授，就是我在麻省理工学院的老教授，说：“嗨，费曼！给我们讲讲我听过的那个征兵的故事。”

我为全体物理学家们讲了整个故事——除了斯莱特，别人我都不认识——他们从头到尾一直笑个不停，但是故事完了，一个家伙说：“呵，那个精神病医生，或许还是有些想法的。”

我率尔说道：“你干哪行的，先生？”当然，这是个叫人摸不着头脑的问题，因为大家都是参加专业会议的物理学家。但一个物理学家会冒出这么一句，我很惊讶。

他说：“那个，呃，我本来实在不应该坐在这儿，我是受我兄弟的邀请，到这儿做客的，他是个物理学家。鄙人呢，精神病医生。”我和尚面前骂秃子，把他给骂出来了！

过了一阵子，我开始担心。他们会说，这里的这个家伙，在战争期间，一直免服兵役，因为他在造原子弹。征兵委员会一直接到信，说他是个重要人物，可他在“精神病科”得了个“D”——结果他是个疯子！显然，他不是个疯子；他是变着法儿地让我们相信他是个疯子——我们得把他抓回来！

形势看来对我不利啊，因此我必须想个出路。几天之后，我琢磨出了个解决办法。我给征兵委员会写了封信，信是这么写的：

> 亲爱的先生们：
>
> 我认为我不应该去当兵，因为我在给科学学生教书。我们国家的福祉，部分地依赖于我们未来的科学家兵力强不强。然而，根据我的体检报告，也就是说，从精神病学的角度看，我是不合格的，各位或许会决定免除我的兵役。我觉得，那份报告不应该得到任何重视，因为我认为它满篇都是低级的错误。
>
> 我之所以敦请诸位注意这个错误，乃是因为我脑子太疯了，疯得都不想占这个错误的便宜。
>
> 理查德·费曼　谨上

结果：“缓服兵役。征兵体检不合格。健康原因。”

第4部分　从康奈尔大学到加州工学院，接触巴西

讲派头的教授

我相信，若不教书，我就活不下去。究其原因，是我必得干点儿事儿，那样的话，在我想不出什么东西的时候，在我没什么作为的时候，我可以对自己说："至少我还活着；至少我也在干着什么事儿；我在做着贡献嘛。"——心理安慰而已。

20世纪40年代，我在麻省理工学院的时候，亲眼看到了"高等研究所"那些伟大头脑的遭遇。那些人，大脑了不得，被特选出来，给他们机会，坐在树林边儿那座可爱的房子里，不用上课，没有任何硬派的任务。这些可怜的倒霉蛋儿，现在可以坐着，心无牵挂地思考问题了，这不很好吗？过了一阵子，他们什么也没想出来：要搞出东西，他们什么机会都有，可他们脑袋空空如也。我相信，人处于这么一种境况中，内疚或者郁闷，会跟小虫儿似的往你心里乱钻，你会为自己无所作为而心情焦虑。焦虑也白搭。

脑子空了，是因为没有足够真实的活动，没有挑战：你不跟做实验的那帮家伙接触，你不必思考怎么回答学生的问题。你什么也没有！

在任何思想过程中，都有这样一些时刻：一切都进行得顺顺利利，奇思妙想纷至沓来。教学的确扰乱清神，因此它是世界上最讨厌的事儿。然后呢，有更长一段时间，你思路断绝，惘然若失，无所事事，这会把你逼疯！你连"我在教书啊"这话都说不得。

如果你在教学，你可以思考那些你了然于心的基本的东西。这些东西是一种乐趣，爽人心神。再思再想，并无害处嘛。有没有更好的方式来介绍它们？有没有新问题与它们相关？你对它们有没有新想法？基本的东西，易于思考；如果你想不起来一个新思想，也不妨事；你以前对它们做的思考，足可应付讲课之用。如果你确实想到了某种新东西，能以新方式来看它，你心甚慰啊。

学生质疑问难，常常是新的研究之源。他们经常问一些深刻的问题，我有时也想到过那些问题，可后来可以说是暂时放弃了。重新思考这些问题，看我现在有没有更好的想法，这对我没有害处。学生们或许看不到我想回答的是什么问题，或者也看不到我想思考的那些问题的精妙之处，但他们问了一些和那个问题邻近的问题，这使我恍然而有所悟。自己面壁苦思，是不大容易悟到这些事儿的。

因此，我发现教学和学生使我生气盎然。若是有人为我制造了一个安安乐乐的条件，用不着教学，哪怕在其中为我准备了高位，我也断不接受。永远不。

但是，曾几何时，有人真为我准备了这么个位置。

在战争期间，我还在洛斯阿拉莫斯的时候，汉斯·贝特在康奈尔大学为我找了这么个活儿，年薪3700美元。另外一个地方也给了我一个位置，钱更多，但我喜欢贝特，我决定到康奈尔了，我也不挂念着钱了。但贝特对我总是照顾周到，当他发现别人给的钱多时，他就让康奈尔大学把我的薪金增加到4000美元，那时我还没上班儿呢。

康奈尔大学告诉我，我要讲的是物理数学方法，他们告诉我什么日子我该到——我想是11月6日。这听起来好玩儿，那时候不是一年将尽了吗。我在洛斯阿拉莫斯坐上火车到伊萨卡（Ithaca）[42]，一路上大部分时间都在写“曼哈顿计划”的最终报告。我还记得，那天晚上在火车从

布法罗（Bu alo）开往伊萨卡的时候，我才开始备课。

你一定得知道洛斯阿拉莫斯的工作压力有多大。你做什么事儿，都是尽可能地快；大家干活儿都非常非常卖力气；每件事儿都是在最后一刻完成的。因此，在开课之前，在火车上用一两天时间编排好课程，在我看来很自然。

我教物理数学方法这课，善莫大焉。在战争期间，我做的就是这事儿——把数学运用到物理上去。我知道什么方法真有用，什么方法没用。运用数学窍门卖力干了四年，那时我已经有了很多经验。所以，我把数学中的许多题目以及教法都列了出来。我至今还留着那些教案——在火车上做的。

我在伊萨卡下了车，跟平时那样，扛着我那沉重的手提箱。一个家伙喊："要出租车吧，先生？"

我从来不想打出租车；我年轻，囊中羞涩，我行我素。但我心里想："我都当教授了——得有派头啊。"于是我就把手提箱从肩膀上卸下来，用手提着，说："要。"

"到哪儿？"

"旅馆。"

"哪个旅馆？"

"伊萨卡的旅馆，随便哪个。"

"预定房间了吗？"

"没呢。"

“找到个房间，不容易哦。”

“我们就挨家找。待着等我。”

我问了“伊萨卡旅馆”：没房间。我们去了“旅人旅馆”：他们也没房间。我对司机说：“带着我满城乱转，没用了；这得花不少钱。我还是拿腿挨家串旅馆吧。”我把手提箱放在旅人旅馆那儿，然后周游各处，找房间。你该看到，我做的准备有多充分，新教授啊。

我碰到了个家伙，也在到处乱转找房间。事儿明白了，找个旅馆房间，是不可能的了。过了一阵子，我们逛到了个小山包上，逐渐意识到，我们离大学校园近了。

我们看到了个房子，有点儿像寄宿馆，一扇窗敞着，你可以看到里头有些双层床。眼下是夜里，于是我们决定去问问能不能宿在那儿。门开了，里头连个人影儿也不见。我们进了一个房间，另外那个家伙说：“来吧，就睡这儿了！”

我觉得不合适。我觉得这跟做贼差不多。有人已经把那床铺好了；他们或许会回来，发现我们睡在他们床上，那就麻烦了。

于是我们就出去了。我们又走了几步，在路灯下，我们看到谁收拾的一大堆树叶子——当时是秋天——是从草坪上耙到这儿的。我说：“嗨！我们可以钻到树叶子里睡！”我试了试，松松软软的。我懒得到处走了。要是这堆树叶子不是刚巧在路灯底下的话，那就尽善尽美了。但我不想上任伊始，就闹出麻烦。还在洛斯阿拉莫斯的时候，大家就拿我打趣儿，当时我在那儿又打鼓又怎么的，说是康奈尔大学这是请了个什么“教授”啊。他们说，我一定会立刻搞出点儿傻事儿而声名远播，所以我就努力讲点儿派头。打消在树叶子里睡觉这念头，我好不情愿。

我们又瞎逛了一阵子，走到一座大房子跟前，是校园里的一个重要建筑。我们进去了，走廊里有两张睡椅。另外那家伙说：“我在这儿睡了！”说着就瘫在睡椅上。

我不想闹出麻烦，所以我在地下室里找到了看门人，问他我能不能睡在睡椅上，他说：“没问题。”

第二天早晨我醒了，找了个地方吃了早饭，然后开始到处跑，想尽快找到我上第一节课的地方。我跑进了物理系：“我第一节课在哪儿上？我晚了吗？”

那家伙说：“你没什么好担心的。8天后才开课。”

我大吃一惊！我说的头一句话是，“可好了，你为什么让我提前一个星期到这儿？”

“我还以为你愿意来熟悉熟悉呢，你得找个地方安顿下来再上课不是？”

我返回了文明世界，却不知道文明世界是个什么东西了！

吉布斯教授叫我到“学生会”那儿找个地方待着。那是个大地方，许多学生在那儿乱转悠。我走到一张写着“住宿”的大桌子那儿，说：“我是新来的，我在找个房间。”

那家伙说：“哥们儿，伊萨卡的住房状况十分紧张。到底紧张到怎么个程度呢？信不信由你，昨天晚上，一个教授不得不睡在这大厅的睡椅上！”

我四下看了看，还是那个大厅啊！我转向他说：“那个，我就是那个教授，那个教授不想再睡大厅了！”

我最初在康奈尔大学当教授的那些日子，有趣儿，有时候，好玩儿。我到那儿几天之后，吉布斯教授来到我办公室，对我解释说，学期都这么晚了，我们通常不接学生，但有几个例外的情况，就是学生非常、非常好的时候，我们也接受。他递给我一张申请表，让我看看。

他转回来问："怎么样，你有什么看法？"

"我认为他属于一流学生，我认为我们应该接受他。我认为他在这儿是我们的荣幸。"

"是啊，但你看过他的照片没有？"

"看看照片，我主意就变了吗？"我叫起来。

"绝对变不了，先生！很高兴你这么说。我想看看我们的新教授是怎样一个人。"吉布斯喜欢我这种方式，有话直说，却不为自己想想。"他是系主任啊，我初来乍到，还是出言谨慎为妙。"我没这么机灵，我的第一反应是直来直去的，我说的就是第一个冒到我脑子里的想法。

然后，另一个家伙到了我办公室。他想跟我谈谈哲学。我真记不得他说了什么，但他希望我参加什么教授俱乐部。这个俱乐部是那种反犹太俱乐部，认为纳粹不那么坏。他试图跟我解释，为什么有那么多犹太人做这个、做那个——都是些发疯的事儿。我就等他把话说完，然后对他说："你知道，你大错特错：我就是在犹太家庭里长大的。"他出去了。我就是这么开始对康奈尔大学人文学科领域和其他几个领域的一些教授失去敬意的。

我妻子死后，生活得重新开始，我希望结交几个女孩儿。在那年头儿，交际舞很流行。因此在康奈尔大学有许多舞会，以便把大家搅和在一块儿，特别是为了把新生和战后返校的老生搅和在一块儿。

我记得我第一次去的那个舞会。我在洛斯阿拉莫斯的时候，三四年没跳舞了；我甚至不喜欢扎堆儿。所以，我到了这个舞会，尽我所能，跳啊跳啊，我想我跳得还算说得过去。要是跟你跳舞的那些人感觉良好，你通常会知道你自己跳得还算说得过去。

在我们跳舞的时候，我会跟女孩儿说几句话。她问我几个个人问题，我也问她几个问题。但是，每当我想和那个我已经和她跳过舞的女孩儿再跳一个的时候，我就不得不到处找她。

“你还想跳吗？”

“不了，真抱歉；我得喘口气。”或者，“那个，我得去洗手间了。”——这样那样的借口罢了，一连两三个女孩儿，都这说法！我这是怎么了？我跳得蹩脚？或者我人品蹩脚？

我又跟另外一个女孩儿跳，又来了那些别人问过的问题：“你是本科生，还是研究生？”（那时有许多老相的学生，因为他们是退役的。）

“都不是，我是个教授。”

“哟？什么教授啊？”

“理论物理。”

“敢情你还造原子弹。”

“没错儿。战时我在洛斯阿拉莫斯工作。”

她说：“骗你姑奶奶去！”——扬长而去。

这让我恍然大悟。事儿都明白了。我也把这个头脑简单的愚蠢事实

告诉了所有的女孩儿，我呢，一直不知道毛病出在哪儿。我举止得体，落落大方，彬彬有礼，有问必答；可是，非常明显的是，女孩儿一个跟着一个把我晒到了一边儿。一切看来都称心如意，可是嗖地一下子——事不谐矣。幸运的是，这女的让我“骗我姑奶奶去”，我这才如梦方醒。

所以呢，以后我就避开那些问题，效果却相反了：“是新生吧？”

“那个，不是。”

“那就研究生啦？”

“不是。”

“那你是什么呀？”

“我不想说。”

“干吗不想告诉俺你是个啥呢？”

“我不想……”——她们还是一个劲跟我说话！

末了，我带了两个女孩儿到我住处来，其中一个告诉我说，作为新生，真的不必觉得不自在；像我这岁数才开始上大学的，大有人在啊，这实在没什么不合适的。她们是大二的，跟母亲一样知道疼人，两个都是这样。她们很是体谅我的心理，但我不想把事情搞得这么走样儿，不想有这么多误会，所以我让她们知道我是个教授。我愚弄了人家半天，芳心大为不悦。在康奈尔大学当个年轻的教授，麻烦多了去了。

长话短说，我的物理数学方法开课了，我认为我也许还教了另一门课——电学和磁学。我也想做研究。在战前，我在读学位的时候，我有的是想法：我发明了一些新方法，用路径积分来做量子力学，我想做的事儿，多着呢。

在康奈尔大学，我得备课，我还要经常跑图书馆去看《天方夜谭》，捎带着向从旁边走过的女孩儿抛媚眼。但是，到了做研究的时候，我工作不了了。我有点儿累，提不起兴趣了，我搞不了研究了！我觉得这情形持续了好几年。可我回头算算那有多长时间的时候，觉得不可能有那么长时间啊。也许如今我不会觉得那时间很长，但人在当时，那好像持续了很长时间。我干脆不能开始思考任何问题了：我记得我写关于伽马射线的一个问题，写了一两行，就写不下去了。我相信，由于战争，还有别的事儿（我妻子的死），我是把自己烧干了。

现在，我比较能看得明白这种情况。首先，一个年轻人，没意识到把课备好，得花多少时间，特别是——讲课、出考题，还得看看考题出得是不是有意思。我课讲得不赖，我在每节课中都投入了很多想法。但我没意识到，这可是好多工作啊！所以，“油尽灯枯”了，我在这儿坐着读《天方夜谭》，内心郁郁不乐。

在这段时间，几个不同的地方（大学和工厂）都让我过去工作——薪金比现在的高。每有这样的事儿，我更觉得压抑。我对自己说：“瞧，他们给我这么好的条件，但他们不知道我已经油尽灯枯了。我当然不能接受。他们期望我做出成绩，但我做不了什么成绩！我可真是没辙了……”

最后，来了封信，里头是“高等研究院”的一封邀请信：爱因斯坦……冯·诺伊曼……哎哟喂……所有那些伟大的头脑！他们给我写信，邀请我在那儿当教授！而且还不是一般的教授哪。不知怎么搞的，他们明白我对这个研究院的感受：它是怎么怎么太理论化了；它是怎么怎么缺乏真正的活动和挑战。所以，他们写道：“我们理解您对实验和教学有相当的兴趣，因此我们做了特别安排，设立了一种特别的教授职位，如果您愿意的话：一半在普林斯顿大学，一半在本研究院。”

“高等研究院”啊！特殊安排！甚至比爱因斯坦的职位还好！理想、

完美、荒唐啊！

确实荒唐。别的邀请，已经让我自羞自惭了，但还有个限度。他们指望我有所成就。但这个邀请，太离谱儿，太不可能，我肯定要辜负人家，荒唐得出了格。别的邀请，不过是把事情搞错了；这个邀请，荒谬绝伦！我刮脸的时候，一想到这个，就禁不住笑。

后来，我想："你知道，他们把你看得神乎其神，但你必定难孚众望，但你没责任满足他们的期望！"

这想头儿，实在是高：别人认为你应该达到什么造诣，但你没有责任来满足他们的想当然。我没有责任成为他们指望我成为的东西。错误是他们犯下的；我无能，与此无关。

"高等研究院"以为我有那么好，就我这方面而言，这和我无能没关系；这事儿是异想天开，明摆着是个错误——从我意识到这事儿可能是他们搞错了的那一刻起，我意识到别的地方，包括我自己所在的这所大学，也是能把事儿搞错的。我就是我，如果他们想当然地以为我很好，主动给我一些钱，那活该他们倒霉。

就在同一天，简直是鬼使神差——兴许是他风闻到我在跟大家说这件事儿，也兴许是他真的理解我——鲍勃·威尔逊[43]，康奈尔大学的实验室主管，把我叫到他办公室去见他。他说（语调严肃）："费曼，你课上得很好；你工作出色，我们很满意。我们或许有些别的期望，可那是个碰运气的事儿。我们聘请一个教授来，所有的风险，应该由我们来承担。如果事情结果很好，善莫大焉。要是不好了，那很糟糕。但你是不必对自己干什么、没干什么这类事情担心的。"他说得比这个还精彩，我如释重负，不必内疚了。

然后，我又有了个想法：现在，我有点儿恶心物理了，但我以前乐

于搞物理。为什么我乐于搞物理？我以前是玩儿它。我以前是兴之所至，喜欢干什么就干什么——我干的事儿对核物理的发展，有没有重要意义，我是不必挂心的。我上高中的时候，我看到从水龙头流出的水越来越细，我就想琢磨出是什么玩意儿决定这种曲线。我发现这事儿很容易搞。我不一定要搞这个；它对物理的未来也不重要；别人已经做过这事儿。别人做过了，情况也是一样：东西是我发明的，我和那些东西玩儿，我自得其乐。

于是我就有了这么一种新态度。既然我确实油尽灯枯，永远也不会有所成就，既然我已经在大学里得到了这么一个不错的教学职位，而我非常乐于教学，正如我读《天方夜谭》纯为乐趣一样，那么我在想玩儿物理的时候，就玩玩它，用不着为什么重要性操心了。

就在那个星期的某一天，我在食堂里，有个家伙在那儿胡闹，往空中扔了一个盘子。盘子在空中往上飞的时候，我看到盘子在旋转，我注意到盘子上康奈尔大学的红徽章也在旋转。我看得很清楚，那个徽章转得比盘子快。

我闲着也是闲着，于是就开始琢磨这旋转着的盘子的运动。我发现，在角度很小的时候，徽章的转速是盘子的两倍——2比1。这展现了一个很复杂的方程式！然后，我想："有没有一种方式，一种让我更能看出门道的方式，通过考察一下它的力或者它的动力学原则，看出它为什么是2比1？"

我记不得我是怎么弄的，但我最后算出了盘子上各质点的运动是怎么样的，各加速度是怎么平衡的，使得速度比是2比1。

我仍然还记得我去找汉斯·贝特，说："嗨，汉斯！我看到了个有意思的事儿。瞧，这盘子是这么转的，速度比是2比1，其原因是……"然后给他看各个加速度。

他说："费曼，那很有趣，但它重要吗？干吗弄这个？"

"啊哈！"我说，"没什么重要的。我弄这个，仅仅是它好玩儿。"他的反应没让我泄气。我已经拿定了主意，我要享受物理，为所欲为。

我继续推导盘子乱转的方程式。然后，我想，在相对论中，电子轨道是怎么开始运动的。然后，有电动力学的狄拉克方程式。然后，是量子电动力学。我还来得及意识到（事儿来得太快）我在"玩儿"（实际上在工作嘛），我如此热衷的相同的一些老问题，那都是我在去洛斯阿拉莫斯的时候耽搁下来的工作：我的那些命题级的问题；所有那些老式的奇妙东西。

这不费什么事儿。和那些东西玩儿，容易。就跟开瓶塞子似的：一切都毫不费力就流出来了。我简直不想让它流出来！我做的事儿，没重要性；可到最后，有的。让我得了诺贝尔奖的那些图表以及整个事情，都来自跟那个旋转着的盘子玩的那些鸡毛蒜皮的事儿。[44]

有问题吗？

我在康奈尔大学的时候，每星期都要到水牛城的一个航空实验室，去搞系列讲座。康奈尔跟这个实验室搞了个协议，其中就包括康奈尔的人在晚上来讲物理。早先有个家伙已经来讲了，但人家不喜欢听，所以物理系就来找我。那时我还是个年轻教授，不好一口拒绝，因此我同意去讲。

他们让我坐一个小航空公司的飞机，这公司只有一架飞机。公司名叫"罗宾逊航空公司"（这就是后来的"莫霍克航空公司"）。我记得我第一次飞往水牛城的时候，罗宾逊先生就是飞行员。把机翼上的冰敲掉，我们就飞走了。

总而言之，每星期四晚上都到水牛城，这主意我不喜欢。大学除了报销费用之外，还另给35美元。我是在“大萧条”中长大的苦孩子，琢磨着把这35美元攒起来。在那年头，这是一笔不小的钱呢。

突然，我有了个主意：我意识到这35美元的目的，是让水牛城之行更有吸引力；让水牛城之行更有吸引力的方法，是把这钱花了。因此，我决定每次到水牛城的时候，都把这35美元花了，为自己找点儿乐子，我想看看我能不能不虚此行。

在大学之外，我就不怎么老道了。连钱都不知道从哪儿花起，我就让那个在机场接我的出租车司机，给我当向导，在水牛城的大街小巷找乐子。他帮了大忙，我仍然记得他的名字——马库索（Marcuso），开169号车。我星期四晚上一到水牛城机场，总向他请教。

我讲第一堂课之前，问马库索：“哪儿有个有意思的酒吧，就是有好些热闹事儿的那种？”我还以为那些事儿是在酒吧里搞的呢。

“阿里比小舍，”他说，“那是个很热闹的地方，在那儿你可以看到好些人。下了课，我就带你去。”

下课后，马库索来接我，开车送我到阿里比小舍。在路上，我说：“听着，我一定得要点喝的。好的威士忌，叫什么名儿？”

“就要黑白威士忌，外加一杯水。”他这么建议。

阿里比小舍是个很雅致的地方，人很多，活动很多。女人穿着毛皮大衣，人人和气，电话一直响个不停。

我走到吧台那儿，要了我的黑白威士忌，外加一杯水。酒吧招待很和气，很快就把坐在我旁边的一位女士介绍给我。我给她买了喝的。我喜欢这地方，拿定主意下星期还来。

每星期四晚上，我都来水牛城，169号车把我送去上课，然后到阿里比小舍。我走进这个酒吧，要我的黑白威士忌，外加一杯水。这么搞了几个星期之后，竟到了这么一种程度：我一进来，一杯黑白威士忌，外加一杯水，就给我预备停当了。“照您的老规矩，先生”都成了酒吧招待跟我打招呼的方式。

我把酒端在手，一饮而尽，表示我是条硬汉子，跟我看过的电影里的相似，然后我坐20来分钟，把水喝完。过了一些时候，我连水也不用喝了。

酒吧招待总是留意我旁边的空椅子，他很快找来一个漂亮的女人把椅子填上，一切都进行得很顺利；但就在酒吧打烊之前，她们都不知跑哪儿去了。我想这大概是因为那时我已经醉得不成样子。

有一次，阿里比小舍快关门了，那天晚上我给她买酒的那个女孩儿，建议我们另找个地方，她认识那儿的许多人。那是另一个房子的二楼，外表看不出楼上还有个酒吧。水牛城的酒吧在两点必须关门，酒吧里的人都被吸引到二楼的这个大厅里，一切继续进行——这是违法的，当然。

我想琢磨出个办法，怎么待在酒吧里看看都搞些什么名堂，而不至于醉倒。一天晚上，我注意到，有个经常光临这个酒吧的家伙，要了一杯牛奶。大家都知道他什么毛病：他有胃溃疡，这可怜的伙计。我就有了个主意。

下次我到阿里比小舍，招待说：“照老规矩，先生？”

“不了。可乐。就是普通的可乐。”我说，满脸失意之色。

别的家伙围拢过来，都表示同情：“是啊，三个星期以前，我就戒这马尿了。”一个家伙说。“真得忍着，迪克，真得忍着啊。”另一个家

伙说。

大家都为我感到光荣，我现在“戒马尿”了，而且还有勇气来酒吧，面对所有的“诱惑”，仅仅要了个可乐——当然，不喝，也得跟朋友们见面啊。我这么坚持了一个月！我是个真正硬的王八蛋啊。

有一次，我在酒吧的厕所里，那儿有个家伙正在小便。他有那么一点儿醉了，用一种发坏的声音对我说：“我不喜欢你这张脸。我觉得，我会把你这脸，按扁了。”

我吓得脸发绿。用同样发坏的声音，我回敬他：“别挡着我路，要不我会尿在你身上！”

他说了点儿别的什么，我琢磨着，这就快动手了。我从来没打过架。我不知道怎么办了，老实说，我也害怕受伤。我确实想到了一件事儿：离墙站得远些，因为我琢磨着，要是我挨了打，后头会撞到墙上。

然后，我一只眼咔嚓一下子，感觉好怪——我伤得不厉害——下面的事儿，我知道，我伺候了那龟儿子一重拳，我发现，我连想都不想，就出拳，我觉得这挺怪；这“机器”知道该怎么做。

“这下好了。一比一平，”我说，“还想接茬儿练？”

那小子退后几步，走了。要是那小子跟我一样傻的话，我们会要了对方的命！

我去洗脸，手在哆嗦，牙龈渗出血来——我牙龈本来就不硬——眼也疼。等我安静下来，我回到酒吧，大摇大摆走到招待那儿：“黑白威士忌，外加一杯水。”我说。我琢磨着，这玩意儿能镇静我的神经。

我没注意到，在厕所里让我给修理了一顿的那家伙，在酒吧的另一

边儿，正跟另外三个家伙说话呢。转眼之间，这三个家伙——大块头儿的硬汉子——到我坐的这地方来，在我头顶上，朝我倾轧过来。他们居高临下，虎视眈眈，说："挑头儿跟我们朋友打架，什么意思？"

我太傻，浑然不知自己大祸临头；我只知道是非曲直。我干脆也飞扬跋扈起来，反唇相讥："是谁先挑事儿的，你把这事儿弄清楚了，再来给我添乱！"

他们的威胁没起作用，这事儿让几个大块头着实吃惊，退后几步，走了。

过了一阵子，其中一个家伙又回来了，对我说："你说对了，克里总这么干。他总是跟人家打架，再让我们给他摆平。"

"你他妈知道我没错儿！"我说，这家伙索性跟我坐一块儿了。

克里和另外两个伙计也过来了，在我斜对面坐了下来，错着两把椅子。克里说了点什么，意思是我的眼不大好看，我说他形状也不堪恭维。

我继续这么嘴硬，因为我琢磨着，一个在酒吧里混的真正的汉子，就得这做派。

局势越来越紧张，越来越紧张，酒吧里的人，心都提到嗓子眼儿了。招待说："伙计们，这不是打架的地方！冷静点儿！"

克里嗤之以鼻："那好吧；等他出去，我们再跟他算账。"

接下来，一个天才从旁走过。每个领域中都有一流的专家。这伙计走到我这儿，说："嗨，丹！我不知道你在城里啊！见到你很高兴！"

然后，他对克里说："我说，克里！来会会我的一个朋友，丹，就

这位。我想，你们两个家伙，会投缘的。干吗不握握手啊？”

我们握了手。克里说：“啊，幸会。”

然后，这位天才俯在我身上，凑在我耳朵边儿，悄悄说：“快快开溜！”

“可他们说要……”

“走吧你！”他说。

我拿了外套，匆匆出去。我顺着这房子的墙根儿往前走，以免他们找到我。没人出来，我去了我的旅馆。碰巧课在那天晚上讲完了，因此我再也没去阿里比小舍，起码有几年没去。

（10年之后，我确实又去了阿里比小舍，已经面目全非了。它不像以前那样优雅而光洁，破破烂烂的；里头的人，衣衫褴褛。我跟招待聊，不是原来那位，给他讲过去的事儿。“哦对！”他说。“以前哪，赌赛马的和他们的马子，都在这酒吧逍遥。”我这才明白，为什么当年这儿有那么多和和气气、相貌优雅的人，为什么电话响个不停。）

第二天早晨，我起床照镜子的时候，我发现，黑眼圈儿需要经过几小时才能充分形成。那天，等我回到伊萨卡的时候，我有些东西要交给系主任办公室。一个哲学教授看到了我的黑眼圈儿，咋咋呼呼的，“哦，费曼先生！为什么不告诉我，你是撞到门上才撞成那样儿的！”

“干吗撞门，”我说，“我在水牛城的酒吧厕所里，跟人干了一架，搞成这样。”

“哈哈哈！”他大笑起来。

接下来，上我的正常课的时候，麻烦了。我走进讲座大厅，低着头，研究我的备课本。准备开讲的时候，我昂然直视；以前的开场白，总是那一套——但这次，口气凶悍：“有问题吗？”

我要我的一块钱！

我在康奈尔大学的时候，常常回老家法洛克维看看。有次我碰巧在家，电话响了：是从加利福尼亚来的长途。在那年头，长途电话意味着事情非常重要，何况这长途电话是从远在百万千米之外的加利福尼亚这么一个神奇的地方打来的。

那边儿那家伙说：“是费曼教授吗，康奈尔大学的？”

“没错儿。”

“我是某某飞行器公司的某某先生。”他说的是加利福尼亚的一家大飞机公司；很不幸，我记不得是哪个了。这家伙继续说：“我们正在筹建一个实验室，研究核动力推进的火箭飞机。这个项目的年度预算是多少多少百万美元……”

我说：“稍等，先生；我不明白，你干吗跟我说这个。”

“让我告诉你呀，”他说，“让我把一切解释清楚。请让我按我的方式说话吧。”他又说了一些话，说有多少人要来这个实验室，多少多少人是这个水平，多少多少博士是那个水平……

“抱歉，先生，”我说，“我想你是找错人了。”

“我不是在跟理查德·费曼说话吗？”

“是的，但你……”

“好不好您让我把话说完嘛，先生；然后，我们再来讨论这事。”

“那好吧！”我坐下来，把眼闭上，听他絮叨，讲的都是这个大项目的细节，可他为什么为我提供这些信息，我还是丝毫不明白。

最后，事儿都说完了，他说：“我之所以把我们的计划告诉您，是因为我们想知道，您是否愿意出任该实验室的主任。”

“你找的这个人，真合适？”我说，“我是个理论物理教授。我不是个火箭工程师，不是飞机工程师，也不是任何那类东西。”

“我们确信，我们找的人合适。”

“那你是从哪儿知道我名字的？你为什么决定给我打电话？”

“先生，您的大名在核动力火箭推进飞机的专利书上。”

“哦，”我说，我这才意识到为什么我的名字会在专利书上，待会儿我一定给你讲讲这故事。我对那个人说：“对不起，但我想在康奈尔大学继续当个教授。”

原来，在战争期间，在洛斯阿拉莫斯，那儿有个挺不错的伙计，为政府负责专利局的事儿，他就是史密斯上尉。史密斯给大家都发了一个通知，通知上说，“我们专利局将为您为美国政府贡献的每一个构想申请专利。您关于核能源或者核利用的构想，无论您认为那是人人都知道的，还是人人都不知道的：即请光临我局，将该构想告诉我。”

我在吃午饭的时候看见了史密斯，在我们溜达回技术区的时候，我对他说：“你到处发的那个通知，要我们把每一个构想都告诉你，是有点儿发疯啊。”

我们反反复复讨论了这事儿——等我们到了他办公室的时候——我说：“关于核能源的许许多多构想，我都再清楚不过，我会在这儿待上一整天，统统告诉你。”

“都什么呀？”

“别大惊小怪的！”我说，“举例：核反应堆……在水底下……水进到这儿……蒸汽从另一边出来……刷——这是个潜水艇。或者：核反应堆……空气从前边涌进来……核反应把它加热……从后窍喷出……嗡地一声穿过大气——这是飞机。或者：核反应堆……你让氢气流过这玩意儿……嗵！——这是火箭。或者：核反应堆……用的不是一般的铀，而是在高温下添加了氧化铍的铀，为的是让它更有效……这是个发电厂。构想嘛，有100万个！”我说着，走出了办公室。

什么动静也没有。

大约3个月后，史密斯叫我到那个专利局去，说：“费曼，潜水艇已经让人家弄了去。但另外三个，是你的。”所以，加利福尼亚的那个飞机公司的那些家伙，在筹建实验室的时候，就想火箭推进什么的专家是何许人也，直截了当去看谁申请了这方面的专利！

无论如何，史密斯让我在一些文件上签字，表示我准备把那三个构想贡献出来，作为政府的专利。这在法律上是冒傻气的：你把这个专利权给了政府，那么你签的那个文件就不是有效的法律文件，除非这其中有某种交易，所以嘛，我签的那份文件上说：“我，理查德·费曼，愿意以一块钱作为回报，将该构想转让给政府……”

我在文件上签了字。

“我那一块钱呢？”

“那不过是个形式嘛，”他说，“我们没有设立这么一项专款，来支付这一块钱啊。”

“肯定有这款子，为这一块钱，字我也签了，”我说，“我要我那一块钱！”

“这也太可笑了。”史密斯抗议。

“不，不可笑，”我说，“这是个法律文件嘛。是你让我签字的，而我这人很老实。如果我在什么东西上签了字，说给我一块钱，那我非得要那一块钱不可。这可不是无理取闹。”

“得得得！”他说，气急败坏了，“我给你这一块钱，我自己掏腰包！”

“成。”

我拿了那一块钱，冒出个主意。我跑到杂货店，买了值一块钱的饼干和糖果，那种里头有果酱软糖的巧克力糖果，买了一大堆——那时钱很值钱。

我回到理论物理部，遍施小惠于天下：“我得奖了，各位！吃饼干！我得奖了！一块钱就拿走了我的专利！我的专利为我换了一块钱！”

每个有专利的人——许多人都签过字——都跑去找史密斯：要他们那一块钱！

他开始掏自己的钱包，但很快就明白，自己出血出得要破产！他急疯了，想去设立一项专款，好支付那些一味儿坚持要一块钱的主儿。我也不知道他是怎么把这事儿摆平的。

你就这样问她们？

我刚到康奈尔大学的时候，还跟我在新墨西哥州认识的一个女孩儿通信，当时我在为原子弹工作嘛。每当她提起她认识的一个伙计的时候，我就想，不行，在学期结束的时候，我得过去看看，免得事儿黄了。但是，等我去了的时候，我发现黄花菜都凉了，最后我待在阿尔伯克基的一家汽车旅馆里，盛暑炎炎，百无聊赖。

我住的这地方，叫“广厦汽车旅馆”（Casa Grande Motel），在66号公路边儿上，这是一条横贯这镇子的干线公路。沿着这路往下走过三个地方，有个小夜总会，有娱乐活动。因为我百无聊赖嘛，也因为我喜欢在酒吧里看人、认识人，我就经常到这个小夜总会。

第一次到那儿的时候，我和在酒吧里的一个家伙聊上了，我们瞄上了一张桌子，满桌子都是年轻漂亮的女士——环球航空公司（TWA）的空姐吧，我心里琢磨——在搞什么生日晚会呢。那家伙说：“来吧，咱俩硬着头皮，请她们跳舞。”

于是我们就请她们中的两个人来跳舞，跳完了，她俩邀请我俩跟一桌的别的女孩儿坐坐。几杯之后，服务员过来了：“有没有人要点儿什么？”

我喜欢装醉，尽管我完全清醒，转朝跟我跳舞的那女孩儿，短着舌头说：“你要什么？”

“我可以点什么呀？”

“什什什什什什什什什什什么都行——随便！”

“那好啦！俺要香槟！”她兴高采烈地说。

我那嗓门儿，酒吧里人人都听得见，我说：“成！香……香……香槟，人啊人人有份儿！”

然后呢，我听到我那朋友对我那女孩儿说，“他醉了，就敲他银子”，这招数真不体面。我这才想到，我或许犯了个错误。

这下可好，服务员走到我跟前，俯下身来，低声说道：“先生，十六块钱一瓶，可以吗？”

我决定不要人人都来香槟啦，所以呢，我嗓门比上次还响，“别问这个！”

可让我大吃一惊的是，过了一会儿，服务员带着他的那些花里胡哨的玩意儿回到这桌子——胳膊上搭着白毛巾，一满托盘杯子，一满桶冰块儿，还有一瓶香槟。他以为我的意思是“别问价钱”，而我的意思是“别问香槟”！

服务员为每个人倒酒，我花了十六块，我朋友跟我那个女孩儿都急眼了，因为他以为她是打算什么账都由我来付。在我看来，事儿就到这儿了——尽管后来才知道，这仅仅是一次新的冒险的开始。

我去那个夜总会去得很频繁，过了几个星期，娱乐节目变了。表演的人是巡回演出的，路经阿玛里洛（Amarillo）[45]，跑过得克萨斯州的许多地方，老天爷知道她们还到过哪儿。夜总会里还有一个常驻歌手，叫塔玛拉。每有一拨到夜总会来表演的，塔玛拉就把我引荐给那群女孩儿当中的一个。那女孩儿就过来挨着我坐在桌边儿，我给她买杯酒，跟她聊聊天儿。当然，我想跟她不仅仅是聊天儿，但每到最后一刻，总有什么事儿不对劲儿了。因此呢，我从来也没搞明白，为什么塔玛拉总是费事把我介绍给那些漂亮女孩儿，而且，接下来，尽管事情开始得蛮顺利，我却总是落得个买酒、一晚上空聊，如此而已。我朋友，得不到塔

玛拉的照顾，也是无功而返——我们俩都是冤大头啊。

不同的表演，不同的女孩儿，你方唱罢我登场，这么搞了几个星期之后，又有新表演团来了。跟往常一样，塔玛拉把我介绍给这团里的一个女孩儿，我们还是那一套——我给她买酒，我们聊天儿，她还挺漂亮。她先过去表演，演完了就回来跟我坐一块儿，我感觉良好。大家都脑袋朝我这边儿乱转，心里想："他有什么法术，能把这女孩儿弄到他那儿？"

但是，然后呢，到了本晚的活动将近收场的时候，她说了一个意思，到那时为止，这意思我在以前听到过好几遍了："我好想让你今儿晚上到我房间来，可我们有个聚会，或许明儿晚上……"——我明白了这种"或许明儿晚上"是个什么意思：别想入非非的了。

呵，整个晚上，我注意到这女孩儿——她名叫格洛瑞娅——和节目主持人说话颇多，表演的时候说，去化妆室的路上说，回来的时候还说。因此，有那么一次，她在化妆室里的时候，节目主持人碰巧从我这桌子旁边走过，我禁不住想知道我猜得对不对，对他说："你妻子，人不错啊。"

他说："是啊，谢谢。"我们开始聊了几句。他琢磨着，是她这么告诉我的。格洛瑞娅回来的时候，她琢磨着，是他这么告诉我的。所以他们俩都跟我聊，还邀请我在酒吧关门的时候，当天晚上就访问他们的住处。

下半夜两点，我跟他们一起到了他们的汽车旅馆。当然没什么聚会，我们聊天儿聊了好一阵子。他们给我看一个相册，是格洛瑞娅的照片，其时她丈夫在爱荷华州第一次遇到了她，一个啃玉米棒子长大的、有点儿稍胖的女人而已；然后，她的另一些照片，瘦了，到眼下，她模样实在是靓丽！他什么都教给她，但他目不识丁，不会写字。特别有趣

的是，因为他干节目主持人这行当，是需要把业余选手进行比赛的剧目和演员名字读出来的，可我甚至没注意到他不会读他正在“读”的东西！（第二天晚上，我看清楚了他们是怎么弄的。在她把一个人领到台上或者领到台下的时候，她瞥一眼他手里的节目单，再悄悄告诉他下一个演员的名字和剧目，飘然而去，若无其事。）

这两口子，很风趣，很友好，我们谈了很多有意思的事儿。我想起了我们是怎么认识的，就问他们，为什么塔玛拉总是把新来的女孩儿介绍给我。

格洛瑞娅回答：“在塔玛拉打算把我介绍给你的时候，她说，‘现在我要把这一带一位真正的阔佬介绍给你！’”

我不得不想了一阵子，这才意识到，一声气壮声宏却被人误会了的“别问这个”，让我花了十六块钱买的那瓶香槟，结果成了一笔很合算的投资。我显然赢得了某种名士风度的美名，穿戴随意，不修边幅，可为女孩儿们花起钱来，那是一掷千金啊。

最后，我告诉他们，有个事儿，挺让我吃惊：“我算是个挺聪明的人，”我说，“但多半只在物理方面。可在那个酒吧里，聪明的主儿多的是——采油的、开矿的、做大买卖的，诸如此类——他们总为女孩儿们买喝的，可到头来都是竹篮打水一场空！”（直到那时，我还是推断人人都是白买酒。）“这怎么可能呢，”我问，“一个‘聪明的’主儿，一进酒吧，怎么可能沦落成这么一个倒霉的傻瓜呢？”

主持人说：“这个嘛，我全明白。这事儿怎么操作，我最清楚不过。我给你上堂课，好让你以后在酒吧里从小妞儿那儿占点儿便宜。但在开课之前，我得向你展示展示，对我说的这档子事儿，我还真明白。为了做个示范，格洛瑞娅会让一个男人给你买杯香槟鸡尾酒。”

我说："敢情好。"但我心里想，"他们怎么弄成这事儿啊？"

主持人接茬儿说："现在，你必须亦步亦趋，照我说的办。明儿晚上，在酒吧里，你坐得应该离格洛瑞娅远一点儿，等她给你发个暗号儿，你做的仅仅是从她旁边儿走过去。"

"没错儿，"格洛瑞娅说，"小菜一碟。"

第二天晚上，我到了酒吧，坐在个角落里，在那儿我可以远远地看着格洛瑞娅。过了一阵子，果不其然，一个家伙和她坐一块儿了，又稍微过了一阵子，那主儿乐不可支了，格洛瑞娅朝我眨了眨眼。我站起来，若无其事地信步荡过去。就在我经过的时候，格洛瑞娅转过身来，亲切的口气，跟银铃儿似的："嚯，哎哟喂，迪克！什么风儿把你吹回城里的？最近死哪儿去了呀？"

此时此刻，那主儿乱转脑袋，想看看这位"迪克"是何许人也；从他的眼里，我看到了某种我完全理解的东西，因为我自己就常常身陷此种境地。

第一眼："噢喔，半路杀出个程咬金。我给她买了酒，他却要把她弄走！会出什么事儿？"

第二眼："不妨事儿，仅仅是个一般的朋友。他们好像以前彼此认识。"这些，我都看得明白。我从他脸上读得出来。我很明白他脑子里转什么念头。

格洛瑞娅朝他说："吉姆，我想让你会会我的一个老朋友，迪克·费曼。"

第三眼："我知道怎么对付：对这家伙，我客气着点儿，那样她会对我更好。"

吉姆朝我说："嗨，迪克。来一杯如何？"

"好极了！"我说。

"喝点啥？"

"就她喝的那玩意儿。"

"招待，请再来杯香槟鸡尾。"

果然容易，简直不算回事儿。那天晚上，酒吧关门之后，我又去了主持人和格洛瑞娅的汽车旅馆。他们笑得前仰后合，高兴事儿弄成了。"好了，"我说，"我彻底服了，你们俩都真明白你们讲的那一套。现在，上课怎么样？"

"好吧，"他说，"总的原则是这样：那主儿，想当绅士。他不希望别人把他看成个不懂礼数的粗汉子，特别不希望人家觉得他小气。只要这妞儿明白这主儿转着什么花花肠子，那么牵着他的鼻子，想往哪儿牵，就往哪儿牵，就是小菜一碟儿了。"

"因此，"他接茬儿说，"在任何情况下，都不要假充绅士！你千万不要把那些妞儿当盘菜。另外，首要的规则是，不要给妞儿买任何东西——连包烟都不给她买——这事儿，等到你问她是不是愿意跟你睡觉的时候，再说不迟；等到你确信她愿意，才知道她没撒谎。"

"呃……你的意思是……你不……呃……你就这样问她们？"

"好了，"他说，"我知道，这是你的第一堂课，这么直奔主题，你或许觉得难。那么你倒也可以给她买个什么玩意儿——就是小恩小惠什么的——然后再开口问。可话说回来，这只能把事情搞得更不顺手。"

妥了，人家只需要给我个原则，我就能把事儿领会透。第二天一整

天，我进行了完全不同的心理建设。我采取了这么一种态度：酒吧里的妞儿，全是婊子，她们一分钱不值；她们在那儿，全是为了让你给她们买杯喝的，然后呢，她们半点儿好处不让你占；在这些一分钱不值的婊子面前，我才不当绅士呢，等等。我学而习之，习而成自然。

然后呢，那天晚上我做好了准备，想以身试法。我跟平常那样进了酒吧，我的那位朋友立刻说："嗨，迪克！等下让你见识见识我今儿晚上泡上的妞儿！她换衣服去了，马上就来。"

"行了，行了。"我说，一副不把这当回事儿的神态；然后，我坐在另一张桌子那儿，看表演。就在表演开始的时候，我朋友的妞儿来了，我心里想："她就是天仙，我也一个大子儿不出；她能办的，是让他给她买喝的去，她呢，会让他空忙一场！"

第一场演完了，我朋友说："嗨，迪克！我想让你见见安。安，这是我的一个好朋友，迪克·费曼。"

我说"嗨"，继续看表演。

过了一会儿，安对我说："干吗不过来跟我们坐一块儿啊？"

我心里想："典型的婊子；给她买酒的，是他；可她接着就邀请别人往这桌上凑合。"我说："我在这儿，看得清楚。"

过了一阵子，从附近军事基地来了一个中尉，军装笔挺。转眼之间，在酒吧的另一边儿，安就和那个中尉坐一块儿了！

那天晚上晚些时候，我还坐在酒吧里。安在和中尉跳舞。在中尉背对着我，而她面对着我的时候，她就相当愉快地朝我微笑。我又想了："婊子！现在，她甚至对中尉又玩起了这套把戏！"

接下来，我有了个好主意：我等到中尉也能看到我的时候，才看她，接着报以微笑，这样，中尉就明白了这闹着什么妖蛾子。因此，她的把戏玩不长了。

几分钟之后，她不再和中尉在一块儿了，却要酒吧招待把她的大衣和手提包拿给她，明显地提高嗓门儿说："我想去散散步。有人愿意陪我去散步吗？"

我心里想："你可以一个劲说不，让他们这么走掉，但你不能永远说不，否则你就不会有所进展。现在，时候到了，你得将就着了。"于是，我就镇定自若地说："我来陪你。"我们就这样出去了。我们在街上走过了几个街区，看到了个咖啡馆儿，她说："我有个主意——咱买点儿咖啡和三明治，到我那儿去吃。"

主意不错，我们就进了咖啡馆儿。她要了三杯咖啡，外加三个三明治，我付账。

在我们从咖啡馆儿往外走的时候，我心里想："事儿搞错了：三明治太多了！"

往她的汽车旅馆走的时候，她说："你知道，我没时间吃这些三明治了，因为一位中尉要过来……"

我心里想："瞧，没及格不是。主持人给我上了课，告诉我怎么做，而我没及格。我给她买了价值1.1元的三明治，却没向她提任何要求，现在我明白了，又要鸡飞蛋打！我得缓过神儿来，好歹要为我老师挽回面子。"

我当即站住，对她说："你……还不如个婊子！"

"什么意思啊，你？"

“是你让我买这些三明治，我得到了什么？啥也没有！”

“哼，小气鬼！”她说，“要是你那么想，我就把三明治的钱还你就是！”

她这是虚张声势，我说：“那就还钱。”

她被将了一军。她伸手去摸钱包儿，掏出了她仅有的那么一丁点儿钱，交给我。我拿了三明治、咖啡，走人。

我吃完了，就回酒吧，向主持人汇报。我一五一十把事情讲了一遍，告诉他，很对不起，没及格，但我要努力东山再起。

他心平气和地说：“没事儿，迪克；挺好嘛。因为你到最后也没给她买东西，今儿晚上，她一准跟你睡觉。”

“什么啊？”

“挺好，”他胸有成竹地说，“她一准跟你睡觉，我有数儿。”

“可她人都不在这儿！她在她的住处，和那个中……”

“没事儿。”

大约两点，酒吧关门了，安还是没出现。我问主持人和他妻子，我是不是该到她那儿去一趟。他们说，可以去。

我们正从酒吧往外走，安来了，穿过66号公路朝我跑过来。她一下子投在我怀里，说：“快，到我那儿。”

主持人说得不差啊。可见他课上得棒！

等我到秋天返回康奈尔大学的时候，我和一个毕业生的妹妹跳舞，

她是从弗吉尼亚州来看她哥的。她很漂亮，突然我脑子里冒出个念头儿。“找个酒吧，我们去喝一杯。”我说。

在去酒吧的路上，我硬着头皮想在一个正常女孩儿身上试试主持人的课程。毕竟，酒吧里的妞儿，一个心眼儿想让你为她买喝的，你不把她当盘菜，并不内疚——但是，一个漂亮的、正常的、南方的女孩儿呢？

我们进了酒吧，我还没坐下，就说：“听着，在我给你买喝的之前，我只想知道一件事儿：今儿晚上，愿意跟我睡觉吗？”

“愿意。”

因此，他的课程对正常女孩儿也灵！但是，无论这课程多么灵验，我在那之后真的不曾再用过。像那么个搞法，我不喜欢。但是，知道事情的运作方式，和我小时候得到的那一套教育，大大地不同，这也有趣。

幸运数字

在普林斯顿大学，有一天，我在休息室坐着，无意听到几个数学家在讨论e^x的级数，把它展开就是$1+x+x^2/2!+x^3/3!$。每一项，都是通过把前一项乘以x并除以下一项的项数来得到的。比方说，为了得到$x^4/4!$后面的那一项，你就把它乘以x并除以5。这很简单。

在我还是个小孩儿的时候，就对级数着了迷。我已经用那个级数计算过e的值，看到新的那些项是如何很快变小的。

我喃喃自语，用那个级数来计算e的无论多少次幂，是多么容易（只要你用幂次来代替x即可）。

“哦，是吗？”他们说，“那好，e的3.3次方是多少？”有个玩笑大王说——我想那是涂基（Tukey）。

我说：“那容易，是27.11。”

涂基知道把它心算出来并不容易。“嗨！你怎么算的？”

另一个家伙说：“你们知道费曼，他信口雌黄。那数，实际上不对。”

他们去找数学用表，就在他们找的时候，我又加上了几位小数：“27.1126。”我说。

他们在表上找到了。“对啊！可你是怎么弄出来的？”

“我只是把级数逐项加起来。”

“没人能那么快就把这个级数加起来。你必定是碰巧知道了那个数。e的3次方是多少？”

“干吗呀，”我说，“这活儿很累！一天只算一个！”

“哈！弄虚作假！”他们得意地说。

“那好吧，”我说，“是20.085。”

在他们查表的时候，我又加上了几位小数，现在他们可就兴奋起来了，因为我又说对了。

在场的都是当年的几个大数学家，茫然不知我是怎么算出e的任意次幂的！其中的一个说：“他绝不可能只是在进行代换和加法运算——那太难了。有窍门的。你不可能随便算出像e的1.4次方这样的数。”

我说："这活儿很累，但我给你面子，是4.05。"

在他们查表的时候，我又加上了几位小数，说："今天到此为止！"出去了。

其实是这样：我碰巧知道三个数——以e为底的10的对数（用来把数字从以10为底换为以e为底），值是2.3026（因此我知道e的2.3次方非常接近于10）。因为放射现象（半衰期），我知道以e为底的2的对数是0.69315（因此，我也知道e的0.7次方差不多等于2）。我还知道e（它的1次方）是2.71828。

他们要我计算的第一个数，是e的3.3次方，它等于e的2.3次方（等于10）乘以e，得27.18。在他们忙着瞎猜我是怎么算出来的时候，我在修正我的答案，减去了多出的0.026——因为以e为底的10的对数2.3026，是稍微多了一点儿。

我知道，再要我算一个数，那就算不出来了；刚才完全是碰运气。但是，那家伙接着问的却是e的3次方：那就是e的2.3次方乘以e的0.7次方嘛，或者说是10乘以2。所以我知道得数是20多一点儿。在他们怎么想也想不出我是怎么算的当口儿，我又对答案做了0.693的调整。

现在，我真的知道再一再二，不能再三了，因为上一个数仍然是纯粹碰运气。但是，那个家伙说的是e的1.4次方是多少。那是e的0.7次方乘以它自身。因此，我只需要在4上面稍微加一点儿而已！

他们怎么也琢磨不出我是怎么算的。

我在洛斯阿拉莫斯时，我发现汉斯·贝特绝对是计算高手。比方说，有一次，我们要把几个数代入公式，最后算到48的平方。我就找玛珍计算器，他说："是2300。"我开始按按钮，他说："如果你要精确的数字，那就是2304。"

机器的得数是2304。“嚯！这可太神啊！”

“怎么计算接近50的数的平方，你不知道吗？”他说，“你先算出50的平方——是2500——再从2500里减去100乘以你的数和50之间的差（在这个例子里是2）。如果你要的是精确的数，那就把那个差数的平方加上去，那就是2304嘛。”

几分钟后，我们需要算出2（1/2）的立方根。用玛珍计算器算立方根，得先查数学用表，查出一个近似值。我开了抽屉找表——这次花的时间长些——他说：“大约是1.35。”

我用玛珍一试，对了。“你怎么算出这个的啊？”我问，“你知道求立方根的秘诀吗？”

“啊，”他说，“2（1/2）的对数是多少多少。这个对数的三分之一在1.3的对数多少多少和1.4的对数多少多少之间，那我就在这两者之间内插了一个数。”

因此，我发现了一点儿东西：第一，他背得下来对数表；第二，光是他做的内插计算量，我找数学用表、拿计算机敲键，也要花费更长的时间。这给我的印象，太深刻了。

此后，我也想干这样的事儿。我记住了几个对数，开始注意事儿。比方说，如果有个人说，“28的平方是多少？”你会注意到2的平方根是1.4，而28是20乘以1.4，因此28的平方必定大约是400乘以2，或者说800。

如果有个人过来想算1除以1.73，你可以张口就来，是0.577，因为1.73近似于3的平方根，因此1/1.73必定是3的平方根的三分之一。如果要算1/1.75，那它刚好是7/4的倒数即4/7，而你记得1/7的循环小数0.142857142857……，于是得数就是0.571428……。

和汉斯用窍门儿快速计算，我得到了很多乐趣。我知道答案而他不知道，这种情况很少；等我答对了一个，他就开怀大笑。他几乎总能回答任何问题，误差不超过百分之一。每个数都接近他知道的一个数——对他而言，这很容易。

有一天，我不知道天高地厚了。午饭的时候，在技术区，也不知道我从哪儿冒出个念头儿，反正我宣布：“任何人在10秒之内能说完的任何问题，我都能在60秒内答出来，误差10%！”

大家开始把他们认为可能算难的问题说给我，例如，计算$1/(1+x^4)$的函数的积分，在他们给我的x的范围内，这东西几乎是不变的。有人给了我一个最难的问题，是算出$(1+x)^{20}$中的x^{10}的二项式系数，我刚好在时间快到的时候答出来了。

他们都给我出难题，我得意扬扬，那时保罗·奥伦（Paul Olum）刚好从大厅走过。在来洛斯阿拉莫斯之前，保罗和我在普林斯顿一起工作了一段时间。他总是比我聪明。比方说，有一天，我正心不在焉地玩一个卷尺，就是你一按按钮，就啪地一下子缩回去的那种。尺子总是缩过头，打在我的手背上，真有点儿疼呢。“哎呀！”我叫起来。“我真是个呆子。老是玩这玩意儿，每次都打疼了我的手。”

他说：“你拿得不对劲。”他把这鬼东西拿过去，把尺子拉出来，按按钮，它好好地就缩回去了。不伤人的。

“哇！你是怎么弄的啊？”我喊道。

“自己琢磨！”

此后几个星期，我在普林斯顿大学，无论到哪儿，手里总在玩卷尺，手都打破皮了。最后，我受不了了。“保罗！我作罢了！你到底是怎么握的，让它打不着你？”

“谁说它打不着我？它打我也打得怪疼啊！”

我觉得自己怎么这么蠢啊。他愚弄我到处拿着个卷尺打自己的手，直打了两个星期！

刚才说到奥伦正走过吃午饭的地方，这帮家伙都兴奋不已。“嗨，保罗！”他们大声叫。“费曼可了不得！我们在10秒钟内给他出题目，可他一分钟就给得数，误差10%。你干吗不给他出个题目？”

他几乎连脚步也没停，说：“10的100次方的正切函数值。”

我的嚣张气焰下去了：你必须把一个一百位数除以π！这可没指望了。

我有一次吹牛说：“任何人都得用路径积分来解决的问题，我就能用别的办法来得出答案。”

奥伦就给了我一个罪该万死的积分：他从一个他知道答案的复杂函数开始，把它的实部去掉，只把虚部留下，就得到了这么个积分。他已经把它展开了，所以它非得用路往积分法不可！他总是让我这样泄气。他是个非常聪明的伙计。

那是我头一次到巴西的事儿。我在我也不知道的什么时间吃午饭——我来饭店，总是来得不是时候——那地方只我一个顾客。我就着牛排（我喜欢）吃米饭，周围站着四个服务员。

一个日本人进了饭店。我以前见过他，看到他到处兜售算盘。他开始和服务员说话，向他们挑战：他说他算加法比他们谁都算得快。

服务员不想丢面子，他们就说：“是啊，是啊。你为什么不到那边，向那位顾客挑战呢？”

这人过来了。我抗议道：“可我葡萄牙语说得不好！”

服务员笑了。“数目字儿，容易。”他们说。

他们给我找来一支铅笔和纸。

这人让服务员喊出数字好加起来。他把我赢得好惨，因为在我把数写下来的当口，他却在拨弄算盘珠子的同时，得数已经出来了。

我建议服务员，在两张纸上写下相同的一些数，然后同时交给我们俩。这没造成多大变化。他还是胜过我许多。

可是，这人得意忘形了：他想显显别的本事。“Multiplicaa～o！”他说，要比乘法。

有个人写了个题，他又打败了我，但只是险胜，因为我乘法是相当好的。

然后呢，这人犯了个错误：他建议我们接着比除法。他有所不知的是，题越难，我胜算越大。

我们俩都做了一道很长的除法题。平了。

这让这个日本人坐立不安，因为他的珠算显然训练有素，可在这儿，差点儿败在饭店里吃饭的一个家伙手里。

“*Raios cubicos*！”他说，想报仇。立方根啊！他要用算术法求立方根！在算术中，再也找不到比这更难的题了。在他的算盘国度中，这想必是他的拿手好戏。

他在纸上写了个数——随便写的——我至今还记得：1729.03。他拨开了算盘，满嘴叽里咕噜，叽里咕噜——跟魔鬼似的忙个不亦乐乎。

他挥汗如雨，跟这个立方根干上了。

与此同时，我在那儿闲坐呢。

一个服务员说：“你干吗呢？”

我指了指脑袋。“想呢！”我说。我在纸上写了12。沉吟片刻，我有了得数12.002。

使算盘的这主儿，抹掉脑门子上的汗：“12！”他说。

“啊，不对！”我说，“再加几位数！再加几位数！”我知道，用算术法求立方根，每一位数都比前头那位数更费工。这活儿累得很。

他又埋头干开了，嘟嘟囔囔的。趁这工夫，我又加上了两位数。他最后抬起头来说：“12.0！”

服务员们兴高采烈，乐不可支。他们告诉这主儿：“瞅瞅！人家寻思寻思就成，你呢，还得用算盘！人家还多好几位数呢！”

他一败涂地，满面羞赧，溜之乎也。服务员们弹冠相庆。

这顾客怎么打败算盘的？题目是1729.03。我碰巧知道1立方英尺有1728立方英寸，因此答案比12大一丁点儿。多出的1.03，大约只有1/2000。我在微分课上学过，对小分数而言，立方根超出的部分是数字超出部分的1/3。因此，我只需要算出1/1728是多少，再乘以4 （即除以3再乘以12）。所以，我的得数就有那么多位数。

几个星期之后，那个人来到了我住的宾馆的鸡尾酒休息室，当时我坐在那儿。他认出我来，就过来了。“告诉我，”他说，“你怎么能那么快算出立方根？”

我就开始解释，说那是一种求近似值的方法，跟误差的百分比有关。“假设你给我的数是28。现在这么想，27的立方根是3……”

他抓起算盘：噼里啪啦、噼里啪啦——“哦，是啊。”他说。

我发现，他不懂数字。靠着个算盘，你是不必记住一大堆算术组合的；你只需要学会怎么上上下下拨弄小珠子就成。你不必记住9+7=16；你只需要知道，在你加9的时候，你只要把十位上的珠子推上去、把个位上的珠子拉一个下来。弄起基本算术来，我们慢些。但我们懂数。

另外，近似值方法的整个观念，他是理解不了的；在大多数情况下，用任何方法都求不出立方根的精确得数，他连这一点也不知道。因此，我跟他解释不清我是怎么求立方根的，也解释不清在他碰巧选了1729.03这个数的时候，我有多么幸运。

又是这个美国人！

有一次，我捎带了一个搭便车的，他告诉我南美多么有意思，还说我一定得到那儿去一趟。我发牢骚，说语言不通，但他说，去学就是——问题不大。我就想了，主意不错：我要到南美。

康奈尔大学有外语课，用的仍然是战时的办法：大约十个学生一个小组，一个外国老师只讲外国话——再没别的。在康奈尔大学，由于我是个面相年轻的教授，我就决定参加一个班，像个一般学生似的。还因为我不知道我最终会到南美的什么地方，我就决定学西班牙语，因为那儿大多数国家都说西班牙语。

因此，等到语言班报名的时候，我们都站在外边，等着到教室里去，就在这当口，一个魅力四射的金发碧眼的妞儿，飘然而至。你知

道，你立刻会有什么感觉，哇噻！这不是天仙下凡吗！我暗自念叨，“或许她要参加西班牙语班——那可就太美了！”可是，不，她款步进了葡萄牙语班。于是我琢磨着，管它的——我或许也可以学学葡萄牙语。

我开始在她身后亦步亦趋，可我那盎格鲁撒克逊式的观点冒出来了，我说：“别，决定说哪种语言，这理由站不住脚。”于是我就又折回去，报名参加西班牙语班，心里却是一百个不乐意。

不久之后，我参加了在纽约举办的物理学会的会议，我发现自己坐在翟米·第奥诺（Jaime Tiomno）旁边，他是巴西来的，他问我：“这个夏天，准备干什么？”

“我正琢磨着，到南美走走。”

“哦！为什么不到巴西来？我会在‘物理研究中心’给你弄个位置。”

这么说，我现在必得改弦更张，学葡萄牙语了！

我在康奈尔大学找到了个葡萄牙的研究生，每个星期他教我两次课，所以我可以把我已经学到的西班牙语都改成葡萄牙语。

在飞往巴西的飞机上，我碰巧和哥伦比亚的一个家伙坐在一起，他只会说西班牙语：所以，我不跟他说话，因为我不想把葡萄牙语和西班牙语混成一团。但坐在我前边的两个家伙，说的是葡萄牙语。我从来不曾听到过真正的葡萄牙语；我的那位老师，说得又慢又清楚。这里的这俩家伙，说话跟爆豆儿似的，卜啦卜啦卜啦卜啦—啊—塔，卜啦卜啦卜啦卜啦—啊—塔，我连“我”或者“这个”这两个词儿都听不清，什么也听不清。

最后，等我们在特立尼达岛（Trinidad）停机加油的时候，我凑到

这俩伙计那儿，用葡萄牙语，或者我自以为是的葡萄牙语，慢慢说：“打扰了……你们能够听明白……我现在对你们正在说什么吗？”

“*Pues nao, porque nao*？”——“能啊，干吗听不明白？”他们回答。

于是我就尽力跟他们解释，说我在学葡萄牙语，现在都学了几个月了，但是还没有听到过在谈话中的葡萄牙语，在飞机上我一直在听他们说话，但是，他们说的话，我连一个字也听不懂。

“哦，”他们笑着说，“*Nao e Portugues*！*E Ladao*！*Judeo*！”他们在说：他们说的那种葡萄牙语并不纯粹，就好像犹太人说的那种德语的意第绪语[46]一样，所以，你可以想象一下：一个学德语的家伙，坐在两个说意第绪语的后头，想琢磨出他们在聊个啥。他们说的显然是德语，但不管用。他想必是没把德语学到家。

等我们回到了飞机上，他们指给我看另外一个人，他真说葡萄牙语，所以我就挨着他坐了。他一直在马里兰州研究神经外科，所以和他谈话，来得容易——但我必须跟他谈“*cirugia neural, o cerebreu*”（“神经循环、神经中枢”）之类的“复杂”东西。比较长的英语词，实际上很容易翻译成葡萄牙语，因为唯一的区别只是词尾不同：英语的“-tion”在葡萄牙语中是“-a～o”；“-ly”是“-mente”，如此等等。可是，等他朝窗外看，说了个什么简单的东西的时候，我却摸不着头脑了：我不会翻译“天是蓝的”。

我在累西腓（Recife）下了飞机[巴西政府负责我从累西腓到里约（Rio）的旅费]。恺撒·雷提斯（Cesar Lattes）的岳父、妻子和另一个人来接我。雷提斯是位于里约的“物理研究中心”的主任。两个男人去取我的行李的时候，这位太太用葡萄牙语对我说：“你说葡萄牙语啊？你是怎么学葡萄牙语的啊？”

我回答得很慢，费了好大的劲。“首先，我还是学习西班牙语……然后我发现我要去巴西……”现在我想说的是“所以，我学了葡萄牙语”。但是，我想不起“所以”是怎么说的。我知道怎么说比较大的词儿，因此我是这么结束这个句子的：“CONSEQUENTEMENTE, apprendi ；Portugues！”——“因此之故，我学了葡萄牙语！”

两个男人带着行李回来了，她说：“哎，他会说葡萄牙语！而且还会用‘因此之故’这种了不得的字眼儿呢！”

接着，广播喇叭传来一个通告。到里约的航班取消了；到那儿的航班，星期二才有——但我最迟也得在星期一到达里约。

我觉得非常不安。“或许有货机。我坐货机得了。”我说。

“教授！”他们说，“累西腓这儿实在不错。我们带你到各处看看。干吗不放松一下——你现在是在巴西啊。”

那天晚上我在城里溜达，遇到一小群人围着看马路中间的一个长方形大坑——挖这坑是为了铺设排污管道什么的——坑里边，一辆小汽车，踏踏实实地坐在里头。事儿有点儿巧：这坑把车嵌得严丝合缝，车顶棚刚好与路面齐平。工人在傍晚收工的时候，懒得立几个标志，而那个家伙也果真把车开了进去。我注意到了一个区别：我们挖坑的时候，就有各种各样的绕行标志，还有闪闪发光的灯来保护我们。在那儿，他们挖了个坑，等一天的活儿干完了之后，就那么走人了。

不管怎么说，累西腓是个不错的城市，我也确实等到下星期二才飞到了里约。

等我到了里约，我见到了恺撒·雷提斯。国家电视台想为我们的会面拍点儿录像，所以他们就开拍了，但不录声音。摄像师说：“摆出你们正在谈话的样子。说点儿什么——说什么都成。”

雷提斯就问我：“你找到一本枕边词典（当地女孩）了没有？”

那天晚上，巴西的电视观众，看到这位“物理研究中心”的主任在欢迎来自美国的访问教授，但大家一点儿也不知道他们谈的，竟然是找个女孩儿度此良宵！

等到了中心，必须决定我讲座的时间——上午还是下午。

雷提斯说：“学生喜欢下午。”

“那就下午吧。”

“可下午在海滩上玩才好，所以，你为什么不在上午讲座，下午你就可以到海滩上逍遥。”

“但你说学生喜欢在下午听讲座。”

“那个你不必担心。照对你最方便的办法来！下午到海滩玩去。”

因此，我学会了一种不同于美国的看待生活的方式。首先，他们不像我那样急匆匆的。其次，如果事情对你比较好，那用不着担心！于是，我就在上午上课，下午到海滩上玩儿。早知道有海滩，那我首先就会学葡萄牙语，而不是西班牙语。

我原本想用英语上课，可我注意到：当学生用葡萄牙语向我解释什么事儿的时候，我听不大懂，虽然我还是知道一点儿葡萄牙语的。他们说的是“增加”还是“减少”，是“不增加”还是“不减少”，还是“慢慢减少”，我是不大清楚的。但是，在他们苦挣苦扎地说英语的时候，他们会发出些“啊啪”或者“度恩”之类的声音；尽管他们发音稀松，语法勉强，我还是能猜出他们想说什么。因此，我明白了，如果我要跟他们说话，想教他们，最好是我来说葡萄牙语，我说得蹩脚就蹩脚吧。那样的

话，他们听起来会容易些。

我第一次在巴西待了六个星期，那时我得到了邀请，要在“巴西科学院”讲个话，讲我刚刚做完的量子电动力学的一些事情。我想，我要用葡萄牙语讲这个话，中心的两个学生说会帮我的忙。我开始把我的讲话用绝对稀松的葡萄牙语写出来。我是自己写的，因为如果让他们来写，我不认识的词儿就太多了，也读不好。因此，我写，他们改正语法，改正错字，弄得好一点儿，但文字水平，仍然允许我读得容易，多少知道我在讲什么。他们帮助我读得绝对正确：“de”应该介于“deh”和“day”之间——一定得读成这样。

我到了“巴西科学院”的大会上，头一个讲话的，是个化学家，站起来，发言——用英语。他这是为了表示礼貌，还是怎么的？我听不懂他说的什么，因为他的发音糟透了；但是，或许别人都有相同的口音，所以他们能听得懂吧；懂不懂的，我也不知道。接着，另一个家伙站起来，用英语发表他的讲话！

轮到我了，我站起来，说：“我很抱歉；我没想到‘巴西科学院’的官方语言是英语，因此，我的讲话没用英语来准备。因此，请原谅，但我是不得不用葡萄牙语来发言了。”

于是我就读这个东西，大家都听得很愉快。

下一个家伙站起来说：“学习美国同事的榜样，我也用葡萄牙语讲话。”因此，就我所知，我把“巴西科学院”的语言传统改变了。

几年后，我遇到了个从巴西来的人，一字不差地引用了我在科学院讲话的头几句。很明显，我的讲话给他们留下了深刻印象。

但是，这种语言，我觉得很难，我就学而不倦，看报纸，等等。我一直坚持用葡萄牙语上课——我称之为“费曼葡萄牙语”，我知道，它不

可能和地道的葡萄牙语是一个东西，因为我能知道我讲的是什么，但我不知道街上的人讲的是什么。

因为我太喜欢我第一次在巴西的经历，一年之后我又去了，这一次是10个月。这一次我在里约大学讲课，他们本该给我钱的，但从来没给，因此中心一直在给我里约大学本该给我的钱。

我最后住在位于克帕卡巴纳（Copacabana）海滩上的一家旅馆里，旅馆名叫“米拉玛”（Miramar）。住了一阵子，我住在了十三楼的一个房间里，我可以从窗口看大海，看海滩上的女孩儿。

后来才知道，这家旅馆是“泛美航空公司”（Pan American Airlines）的飞行员和女乘务员“下榻”的地方。“下榻”这个词儿，我总觉得有点儿叫人反胃。他们的房间都在四楼，三更半夜的时候，常有人偷偷摸摸、鬼鬼祟祟地在电梯里串上串下。

有一次，我离开旅馆几个星期在外旅行，到我回来的时候，经理告诉我，他不得不把我的房间订给了别人，因为那是最后一个空房间，他已经把我的东西搬到另一个房间去了。

那个房间正好在厨房那边。人们通常在这里住不长的时间。这位经理算是琢磨透了：我是唯一看得出住在那个房间有好处的一个家伙；非常清楚的是，我会忍受油烟味儿，不会发牢骚。我真没发牢骚：房间在四楼，离女乘务员很近。这省了不少麻烦。

航空公司的人，不知怎么，厌倦自己的生活；真够奇怪的是，晚上她们常去酒吧喝酒。我喜欢她们这些人，为了显得合群儿，一个星期好几个晚上，我都和她们一块儿去酒吧喝上几杯。

有一天，大约在下午三点半，我在克帕卡巴纳海滩对面的人行道上溜达，遇到一个酒吧。我突然有一种极其强烈的感觉：“我要的就是这

个；说着娘家人儿，孩子他舅舅就来了。此时此刻，我就是想喝一杯！”

我就开始迈步进酒吧，可我突然脑子里想：“且慢！这才下午正中间，这儿什么人也没有。没什么社交理由要喝酒啊。可你必得要喝一杯，你为什么有这么一种强烈的感觉？”——不想不知道，一想吓一跳。

从那以后，我再也滴酒不沾了。我想，实际上，我并没有处在什么危险之中，因为我发现，悬崖勒马，并不算难。但那种我不理解的强烈感觉，吓着我了。你知道，我不想毁了这个最令人愉快的机器，这机器使生活成为这么一大乐子。我从这种思考过程中，得到了好大的乐趣。后来，尽管我对幻觉很是好奇，但还是踌躇于拿迷幻药亲身实验，也是出于同样的理由。

在巴西快到年终的时候，我带着一位空姐——一位扎着辫子的、非常可爱的女孩儿——到博物馆去。在我们走过埃及部分的时候，我发现自己在向她讲这么些事儿：“石棺上的翅膀，意思是这个这个；这些瓶子，是用来放人的内脏的；转过那个角落，那里应该有那个那个……”我暗自思忖：“你自己知道，你是从哪儿听来的这些个东西？是从玛丽·娄（Mary Lou）那里听来的啊！”——她不在身边，我觉得寂寞。

我是在康奈尔大学遇到玛丽的，后来，等我去了帕萨迪纳（Pasadena）[47]，我发现她已经来到了附近的威斯特伍德（Westwood）。我喜欢她有一段时间，但我们经常吵架；最后，我们断定事情没希望了，我们就分手了。但是，一年的时间，和这位空姐里出外进，却无功而返，我灰心丧气。因此，当我给这女孩儿讲这些事儿的时候，我觉得玛丽·娄实在是个好女孩儿，我们不应该吵的。

我给她写了一封信，求婚。明白人都会告诉我，这是危险的：你在外头，除了信，你什么也没有，你觉得寂寞了，你就只记得那些美好的事情，忘记了你们是为什么吵架的。结婚，也解决不了问题。一结婚，争吵又起，这桩婚姻只延续了两年。

美国使馆有个人，知道我喜欢桑巴音乐。我想我告诉过他，我第一次在巴西的时候，曾经听过在街上练习的一个桑巴乐队的演奏，我也想多了解一些巴西音乐。

他说，有一个叫“土风”的小乐队，每星期在他的公寓里练习，我可以过去听他们演奏。

有三四个人——一个是这公寓的看门人——他们在这个公寓演奏的音乐非常安静，他们没有别的地方演奏。有个家伙打小手鼓，他们称之为“盼得乐”（pandeiro），另一个家伙拨弄小吉他。我总是听到有敲鼓的声音，但没有鼓啊！最后，我琢磨出那是小手鼓的声音。那家伙演奏小手鼓的手法很复杂，手腕乱转，用拇指敲打鼓皮。我发现这有趣，多少学会了怎么演奏盼得乐。

稍后，狂欢节即将来临。这是个展示新曲子的季节。他们并不一年到头推出新曲子和新唱片；他们等到狂欢节，才全盘端出来，这可令人兴奋啊。

原来，这位看门人是一所小桑巴“学校”的作曲家——说它是个学校，搞的却不是教育，而是沽名钓誉——在克帕卡巴纳海滩上沽名钓誉。这乐队名叫“Farqantes de Copacabana”，意思是“克帕卡巴纳的骗子”，这很合我的口味儿，他还请我入伙儿。

原来这个桑巴学校是这么个东西：大家从远处的法维拉（favelas）——也就是这城市的贫民区——赶来，在一处正在施工的公寓楼建筑工

地的后面集合，为狂欢节排练新曲子。

我选了一样名叫“福瑞吉得乐”（frigideira）的东西来演奏，那是个金属造的玩具平底锅，直径15厘米，用小金属棍儿来敲。它是一种伴奏乐器，伴随着主要的桑巴曲子和节奏，它弄出的动静，脆而快，使曲子丰富多彩。因此，我就试着玩这个东西，一切都进行得很顺利。我们在排练的时候，乐声一路喧嚣，跟60年代那股子狂劲儿相似。大家闹得正欢，突然之间，首席演奏家，一个大块头的黑人，大喝一声：“停！叮住，叮住！——等一下。”大家都僵在那儿。“福瑞吉得乐，出了毛病！”他声如雷鸣，“*O Americana, outra vez*！”（“又是这个美国人！”）

于是我就觉得不自在。我不停地练习。我抓着那两根棍儿，沿着海滩走，手腕儿乱转。练啊、练啊、练啊。我一直在捣鼓这个，但总觉得不如人，总觉得扯了人家后腿，总觉得自己不是这块料。

好了，越来越接近狂欢节了。有一天晚上，乐队队长和另一个家伙在谈事儿，接着，队长开始转着圈儿地走，在选人呢：“你！”他对一个号手说。“你！”他对一个歌手说。“你！”——他指着我。我还以为我们这些人都是淘汰的呢。他说：“到前头去！”我们向前走到建筑工地前边——我们五六个人——那儿有一辆旧卡迪拉克敞篷小汽车，篷子拉了下来。“上车！”队长说。

车地方不够我们坐，我们有几个人得坐在后车帮上。我对我旁边的那家伙说：“他在干吗？——打发我们滚蛋？”

“*Nao se, nao se.*”（“我不知道。”）

我们的车离开大路，往边上的高坡上开，停在悬崖的边上，俯瞰着大海。车停了，队长说：“下车！”——他们把我们带到悬崖边上！

果然，他说：“站成一排！你第一，你下一个，你下一个！开始奏

乐！现在，齐步走！”

我们会齐步掉下悬崖的——多亏有条向下的陡坡儿。我们的小乐队就这样走下了这条小路——号、歌手、吉他、盼得乐、福瑞吉得乐——来到了一个在树林里举办的露天晚会上。我们被挑出来，不是因为队长想把我们打发走；他派我们到这个私人晚会上，那儿需要桑巴舞曲！后来，他敛了点儿钱，好为我们乐队买服装。

此后，我感觉好些，因为我明白，在他挑选演奏福瑞吉得乐的人时，他选了我！

还有一件事儿，增强了我的自信心。过了一段时间，从另一个桑巴学校来了个家伙；那学校在勒巴伦（Leblon），在更远的那边的那个海滩上。他想加入我们学校。

老板说：“你从哪儿来的？”

“勒巴伦。”

“你演奏什么？”

“福瑞吉得乐。”

“那好。让我听听你演奏的福瑞吉得乐。”

这家伙于是就操起他的福瑞吉得乐和他的金属棍儿，接着，“卜拉哒哒，哧可啊哧可”，嚯！妙啊！

老板对他说：“你到那边去，挨着美国人站着，你会学会怎么演奏福瑞吉得乐！”

我的推测是这样：这就像一个说法语的人到了美国。刚开始，他们

出各种各样的错误，你简直听不明白他们说什么。后来，他们坚持练习，终于说得蛮像样儿，而且你发现，他们说话的方式，有一种挺悦耳的弯弯儿——他们的口音颇为好听，你很爱听他们说话。所以呢，我在演奏福瑞吉得乐的时候，想必也有某种口音，因为我不可能和那些演奏了一辈子福瑞吉得乐的家伙比试比试；那必定是某种傻乎乎的口音。但是，不管是什么吧，我成了一个相当成功的福瑞吉得乐演奏家。

有一天，就快到狂欢节了，桑巴学校的队长说：“好了，我们要到街上排练走步。”

我们都从建筑工地出发到了街上，街上车水马龙。克帕卡巴纳的街道总是一团乱。不管你信不信，有一条电车线，电车在那儿往一个方向走，汽车在那儿朝另一个方向走。当时正是克帕卡巴纳的上班高峰时间，而我们是打算齐步走到“大西洋大街”的正中间。

我对自己说：“耶稣！老板还没弄许可证呢，他还没征得警察的同意呢，他什么也没干。他决定我们就那么出去。”

于是我们就出发到了大街上，周围的每一个人，兴高采烈。几个看热闹的，自告奋勇，拿根绳子，把我们围在一个大正方形里，免得行人闯进我们的行列。人们把脑袋探出窗外。人人都想听到新的桑巴舞曲。场面令人非常兴奋！

我们一开始行进，我就看到一个警察，在马路对面不远处。他张望着，看那儿闹腾什么，然后让车辆改道行驶！一切都不是正式的。没人做过安排，但事儿还搞得不错。人们在我们四周扯着绳子，警察在让交通改道，行人在拥挤，交通被堵塞，可我们却畅行无阻！我们走完了大街，转过街角，转遍了这个乱糟糟的克帕卡巴纳，一切都是率意而发的！

最后，我们停在一座公寓楼前的小广场上，老板的妈住这儿。我们在这地方站着演奏，那家伙的妈，他姑妈，七大姑八大姨，倾巢而出。她们还戴着围裙呢；她们一直在厨房里忙活呢，你看得出来，她们喜出望外——她们几乎要哭出来。

这才是人性啊，确实美好啊。大家都从窗口探出身来——难以形容啊！我记起了我上次来巴西的时候，看到过一个桑巴乐队——我是多么热爱这种音乐，几乎欣喜若狂了——现在，我身在其中！

顺便告诉你，我们那天绕着克帕卡巴纳游行的时候，我看到人行道上的一群人当中，有两位美国使馆的年轻女士。下星期，我接到使馆的一封信，说："您做了一件了不起的大事，这个这个，那个那个……"喋喋不休的一堆废话，好像我的目的是为了改善巴美关系似的！所以我做的事才是"大"事嘛。

言归正传，为了去排练，我不想穿平常穿的那种衣服，就是我到大学时穿的那种。乐队里的人很穷，只有破烂不堪的衣服。我就穿了一件旧内衣，同样旧的裤子，等等，这样我看起来就不过分特别了。可这样我就没办法从克帕卡巴纳海滩、太平洋大道上我住的豪华宾馆的门厅里进出了。所以我总是坐电梯一坐到底，从地下室里出来。

接近狂欢节，将要举行一场特别的比赛，比赛在几个海滩桑巴学校之间展开——克帕卡巴纳海滩，爱帕尼玛海滩，还有勒巴伦海滩；有三四个乐队，我们是其中之一。我们穿着演奏服，沿着太平洋大道一路走下来。穿着这种花里胡哨的狂欢节服装，我有那么一点儿不自在，因为我不是个巴西人。但我们原本应该打扮成希腊人的模样，因此我琢磨着我和他们一样像希腊人。

在比赛那天，我在宾馆的餐厅里吃饭，领班的服务员，经常看到我一听到桑巴舞曲，就在餐桌上击节以和之，走过来对我说："费曼先

生，今天晚上会有你喜欢的事儿！*tipico Brasileiro*——最具巴西特色：桑巴学校的游行，就从旅馆前边经过！这音乐太棒——你可得听听。”

我说：“啊哈，我今天晚上有点儿忙。我不知道能不能腾出身来。”

“哎呀！但是你会爱得不得了啊。你千万不可错过！那才是tipico*Brasileiro*！”

他很固执，我一个劲儿告诉他我想我不会在那儿看的，他大失所望。

那天晚上，我穿上我的旧衣服，跟平时那样从地下室溜出去。在建筑工地那儿，我们披上行头，一百个穿着纸做的行头的巴西希腊人，开始沿着太平洋大道游行，我走在后边，演奏福瑞吉得乐。

太平洋大道两侧，人山人海；大家都把脑袋探出窗外，我们正往米拉玛旅馆那边走，我就住那儿。那儿的人都站在桌子椅子上，大家蚁涌蜂攒一般。我们的乐队经过旅馆前边的时候，我们一直演奏着，跟60年代一样疯狂。突然，我看到有个服务员跳上跳下，他指着我，在这人声鼎沸之中，我听得见他喊：“啊，教授！”领班的服务员这才明白，那天晚上我为什么不可能站在那里看比赛——我是参赛的啊。

第二天，我遇到了一个我老在海滩上遇到的女士，她在大道边上有一座公寓楼。她跟几个朋友，高高在上，观看桑巴学校的游行。当我们走过的时候，她的一个朋友喊道：“听弹奏福瑞吉得乐的那家伙——他棒啊！”我成功了。没人指望我能做这件事儿，可我硬是做成了。

狂欢节来临的时候，我们学校露面的人却不多。为这一盛事，我们做了一些特别的服装，但现在人却不多。也许他们以为我们不可能胜过城里真正大牌的桑巴学校；我不知道。我认为，我们夜以继日地工作，又是排练，又是游行，都是为了狂欢节；可狂欢节到了，许多队员却不

见人影了，我们的实力就不怎么样了。就连我们在街上游行的时候，几个人还半路开溜了呢。结果是这样，真够滑稽！我从来也没搞明白这是怎么回事；也许在海滩上的比赛中出人头地，才是他们主要的兴奋点和乐趣所在，在海滩上，大多数人水平都差不多。顺便说一句，我们乐队真的赢了。

在巴西待的10个月，我对轻原子核的能价发生了兴趣。我在旅馆房间里把这事儿的全部理论都搞出来了，但我想看看试验数据是怎么样的。这个新玩意儿，就是加州理工学院凯洛格（Kellogg）实验室的专家正在搞的东西，我就通过业余无线电跟他们联系——把时间安排好了。在巴西我遇到了一个业余无线电报务员，大约每星期我都到他家里一趟。他和在帕萨迪纳的一个业余无线电报务员进行联系；因为这事儿有点儿非法，他就给了我一个呼号，他说：“现在我将把你转给WKWX，他就坐在我旁边，等着跟你说话。”

我就说：“这是WKWX。请告诉我硼原子的那些能价间隔，就是我们上星期谈的那个。”诸如此类。我利用试验数据来修正我的常数，并检查我的路子对不对。

头一个家伙去休假了，但他让我到另一个业余无线电报务员那儿去。这第二个家伙是个盲人，他有自己的电台。这两个人都不错，我利用业余无线电和加州理工学院之间的联系，很有效率，这对我很有用。

就物理学自身而言，我干的活儿可不少，而且都有道理。后来别人也搞出来了，证实了我的理论。但我觉得，有很多参数需要校准——太多的“关于参数的现象调整”，为的是把一切都弄妥帖——我拿不准这么个搞法是不是有用。我想对原子核有更深刻的理解，但始终不相信这是很重要的事儿，所以我对此再也没有进行更进一步的研究。

说到巴西的教育，我的经历相当有趣。听我课的那些学生，最后都

当老师，因为在那个时候的巴西，在科学方面受过高级训练的人，没有太多的机会。这些学生已经学了很多课程，我教的课是他们在电学和磁学方面的最高级的课程——麦克斯韦方程式之类。

里约大学分散在全城好几座办公楼里，我在一座俯瞰海湾的建筑里上课。

我发现了一个好奇怪的现象：我问一个问题，学生们随口就答得上来。但是，下一次我还是问这个问题——至少在我看来是同一个主题，同一个问题——他们却完全答不上来！比方说，有一次，我在讲偏振光，给了他们一些偏振片。

偏振片只允许电矢在某种方向上的光通过，于是我就向他们解释，看看偏振片是暗的还是亮的，你就能说得出来光是怎么发生偏振的。

他们首先拿起两个偏振片，转动它们，直到它们允许最大量的光通过。他们在这么做的时候，他们说得出来，这两个偏振片允许光在相同的方向上发生偏振——能从一个偏振片通过的光，也能从另一个偏振片通过。但我接着问他们，如果只有一个偏振片，你怎么说得出来偏振的绝对方向呢？

他们茫然无知。

我知道这个问题，是需要一点儿机灵劲的，所以我给了他们一点提示："看看从外边海湾反射过来的光。"

没人说话。

然后我说："你们听说过布鲁斯特角吗？"

"听说过，先生！布鲁斯特角是光在某种介质上的反射角，这种介

质的折射率允许光完全偏振化。”

“当光被反射的时候，它的偏振方向如何？”

“先生，光的偏振方向与反射面垂直。”连我自己还得想一想呢；他们却硬生背下来了！他们甚至还知道，那个角度的正切值等于折射率呢！

我说：“然后呢？”

仍然默无声息。他们刚刚告诉我，光以一定的折射率从某种介质（譬如外面的海湾这种介质）上反射回来，就成了偏振光；他们甚至连光发生偏振的方向也告诉了我。

我说：“看看外面的海湾，透过偏振片来看，现在，转动偏振片。”

“哦哦哦，光发生偏振了！”他们说。

在进行了许多调查之后，我最后琢磨透了：这些学生把什么都死记硬背下来，但那是个什么意思，一概不知。当他们听说“以某一折射率从某种介质上反射回来的光”的时候，他们不知道所谓介质就是水之类的东西。他们不知道“光的方向”就是你看一个东西的时候你朝它看的那个方向，等等。一切都完全是死记硬背的，但没有什么东西被翻译成有意义的词句儿。我问：“什么是布鲁斯特角？”找台计算机，把键敲准了就成。但是，如果我说：“看看水。”鸦雀无声——“看看水”这话隐藏着什么意思，他们莫名其妙。

后来，我在工学院听他们的课。课的上法，翻译成英语，是这样的：“两个物体……是相等的……如果力矩相等……将产生出……相等的加速度。两个物体，是相等的，如果力矩相等，将产生出相等的加速度。”学生们坐在那儿，记录口述。趁着教授重复句子的当口，检查是

不是记得正确。然后，他们记第二个句子，再记，再记。明白教授正在讲的是具有相同惯性矩的一些物体的，我是唯一的一个，而他讲得相当难琢磨。

我看不出他们这样学怎么能学到任何东西。现在，他在讲惯性矩；但没有下面这种讨论：你把重物抵在门的另一边，你推门有多么费力；比较一下，你把重物放得靠近合叶一些，又如何——完全没有这种东西！

下课后，我对一个学生说："你把笔记都记好了——笔记有什么用？"

"哦，我们研究笔记，"他说，"我们要考试的。"

"考试，是怎么个考法？"

"非常容易。我现在就可以告诉你一个试题。"他看着他的笔记本说，"'在什么时候两个物体是相等的？'答案是：'两个物体是相等的，如果它们的力矩产生了相同的加速度。'"您看，大家都能通过考试，都能"学会"这些玩意儿；除了他们背诵下来的东西之外，他们什么也不知道。

以后，我又看了工学院的入学考试。那是个口试，我得到允许，可以旁听。有个学生，绝对超一流：一切问题，对答如流！主考问，什么是反磁性，他回答得很完美。主考又问："光以一定角度穿过有一定厚度的材料板，折射率为N，光有什么变化？"

"先生，它出来的时候，与自身平行——位移。"

"位移了多少？"

“我不知道，先生，但我能算出来。”他果真算出来了。他很优秀。但到那个时候，我仍然疑心重重。

考试之后，我走到这个聪明的年轻人那儿，我告诉他，我是从美国来的，我想问他几个问题，而且我这么问，无论如何不会影响他的考试成绩。我问的第一个问题是：“你可以举出几个抗磁性物质的例子吗？”

“不能。”

然后我问：“如果这本书是玻璃做的，我透过它看桌子上的什么东西；如果我把这块玻璃倾斜起来，那么物像会有什么变化？”

“它会偏斜的，先生，会偏到你转动这本书的角度的两倍。”

我说：“你没把它和镜子弄混了，是吧？”

“没弄混，先生！”

刚才在考试的时候，他告诉我们说，光线会位移，与自身平行，因此物像会移到一边去，但不会以任何角度转动。他甚至计算出了物像会移动多少，但他没意识到一块玻璃就是有折射率的材料，没意识到他的计算本来就适用于我的问题。

我在工学院开了物理数学方法这门课，讲课过程中，我试图表明如何用试错法来解决问题。这东西，大家通常都不知道，于是我就开始用一些简单的算术例子，来演示这个方法。80来个学生当中，只有8个完成了第一次作业，这让我很吃惊。因此，我在上课的时候特别强调，要真的去试试，不要作壁上观，不要只看我做。

这节课下课之后，几个学生，组成了个小代表团，来找我，告诉我说，我不理解他们的背景，说不必搞这些问题照样学习，说他们已经学

过算术，说这些东西都在他们的水平之下。

我就继续教这个班，而且无论学的东西多么复杂，或者无论多么明显地高级，他们从来就没交过什么鬼作业。我当然知道那是怎么回事：他们做不了！

我没能让他们做成的另一件事儿，是提问。最后，一个学生对我解释说："如果在上课的时候我问您问题，过后大家都要对我说，'你干吗在课上浪费我们的时间？我们想学点儿什么，可你问问题，不让他讲。'"

这是一种先声夺人的坏作风，明明是谁也不明白在讲的东西是什么，可他们把一个人打压下去，就好像他们真明白似的。他们都假装明白，如果有个学生有那么一刻承认什么东西把他搞昏头了，提出一个问题，其他的人就采取高人一等的态度，那做派就好像没什么东西不清楚似的，告诉那个学生他在浪费别人的时间。

我对他们解释，在一起研究、讨论问题、把想法说个畅快彻底，这办法是多么有用；但他们连这个也不做，因为问了别人，就丢了面子。这太可悲了！他们出力不少，人也聪明，但却使自己陷入了这么一种滑稽的精神状态，这种奇怪的、自体繁殖式的"教育"，没意义，完全没意义！

学期结束之际，学生们要我发表一个讲话，谈谈我在巴西的教学经历。讲话的时候，在场的，不光是学生，还有教授，有政府官员，因此我要求他们做出允诺：我想说什么，就说什么。他们说："没问题，当然。这是个自由国家嘛。"

我就这么进来了，带着大学第一学期他们用的那本基础物理课本。他们认为这书特别好，因为它是用不同字体印刷的——粗黑体，意思是

最重要的东西，得记住；颜色浅的，不那么重要，诸如此类。

立刻就有人说：“你不会说这书的坏话，是吧？写这书的人，在这儿呢，而且，大家都认为这是本很好的书。”

“你们答应过我，我想说什么，就说什么。”

讲座大厅座无虚席。我给科学下了个定义，以此作为开场白，我说，科学是对自然的行为的理解。然后，我问：“为什么教科学？站得住脚的好理由是什么？当然，没哪个国家，能自称自诩是一个文明的国度，除非……啰里啰唆，啰里啰唆。”在座的人，频频点头，因为我就知道，他们就是这么个看法。

然后，我说：“这么想，是荒唐的，当然荒唐，因为，我们有什么必要觉得自己必得跟上另一个国家的脚步？我们搞科学，应该有个站得住脚的理由，一个不那么傻里傻气的理由；而不是因为别的国家也搞科学。”然后，我讲到了科学的功用，以及科学在改善人类状况方面所做出的贡献，诸如此类——实际上，我这是在逗他们呢。

然后，我说：“我讲话的主要目的，是想向诸位表明：巴西没教什么科学！”

我看得出，他们都燥热起来，他们在想：“什么啊？没教什么科学？这绝对是痴人说梦！科学课程，我们都有嘛。”

于是，我告诉他们，在我刚来巴西的时候，使我颇受震动的头几件事当中，有一件，是小学生在书店里买物理书。在巴西，有这么多孩子在学物理，比美国孩子起步早得多。可你在巴西找不到许多物理学家，这事儿透着怪——这是怎么搞的？这么多孩子，这么努力地学，却没什么收效。

然后，我用一个希腊学者来打比方，这个希腊学者热爱希腊语，他知道，在他自己的国家中，没有多少孩子学希腊语。但来到了另一个国家，他欣喜地发现，大家都在学希腊语——连小学里的小孩子也在学。他去为一个要在希腊语方面拿学位的学生当考官，问他："关于真与美之间的关系，苏格拉底有些什么看法？"——这学生答不上来。然后，他问这个学生："在《第三篇对话》中，苏格拉底对柏拉图说了什么？"这个学生眼睛一亮，率尔答曰："吧啦吧啦吧啦。"——口若悬河啊，苏格拉底说的什么，他都告诉你了，一字不差啊，用漂亮的希腊语说的！

但是，在《第三篇对话》中，苏格拉底谈的那些东西，就是真与美之间的关系啊！

这位希腊学者发现，另外这个国家的学生，学希腊语，先是学字母的发音，然后学词儿，然后学句子和段落。苏格拉底说的什么，他们背得下来，一字不差地背，却没有意识到那些希腊词儿，实际上意味着某种东西。对学生而言，那些词儿，全是做作出来的声音。没人把那些词儿翻译成学生能够理解的词儿。

我说："在我看到你们在巴西教孩子们'科学'的时候，在我看来，就是这个样子。"（好强的冲击波，是吧？）

然后，我把那本他们正在用着的基础物理课本举在手里。"在这本书中，在任何地方，都没提到任何实验结果，有个地方例外，那儿有个球，正在滚下斜面，在那个地方，书里说，在1秒、2秒、3秒、多少多少秒之后，这球滚出多远。这些数字有'误差'——就是说，如果你看这些数字，你还当是在看实验结果呢，因为这些数字，比理论上的数值大一点儿或小一点儿。这书甚至谈到了必须纠正实验误差的问题——这很好。问题是：如果你根据这些数值来计算加速度常数是多少的话，你可以得到正确的答案。但是，一个沿着斜面向下滚的球，如果你真动手让

它滚的话，它还有惯性，这惯性让它转动，如果你真做这个实验的话，你将得到正确答案的5/7，因为需要额外的能量消耗在转动上。因此，这唯一一个实验‘结果’的例子，还来自假实验呢。没人曾经滚过球，否则他们不可能得到那种结果！”

“我还发现了另外一件事儿，”我继续说，“随便翻到哪一页，随便把我的指头按在哪儿，然后读我按住的那个句子，我可以向诸位表明，我说的是怎么一回事儿——它怎么就不是科学，而是死记硬背，整本书都是如此。因此，我敢说，现在我随便翻到哪一页，当着在座各位的面，我用手指头按到这儿，给你们读这句话，让诸位自己看看。”

我就这么办了。扑啦扑啦扑啦——我指头按住一个地方，我开始读：“摩擦发光。摩擦发光是晶体摩擦时发出的光……”

我说：“就在这儿，你们看到科学了？没有！你们只是用另一些词儿来告诉一个词儿是什么意思。你们没说到自然——你摩擦晶体发光，你摩擦的是什么晶体，为什么它们会发光。你们看到过有任何学生回家去试试这个吗？他没法儿试。”

“但是，如果你这么写，‘你拿着一块儿糖，在黑暗中用钳子夹它，你可以看到蓝盈盈的闪光。其他一些晶体也是如此。没人知道这是为什么。这种现象叫作摩擦发光。’然后呢，有人就会回家去试了。然后呢，这就有了一个关于自然的体验。”我用这个例子来说明问题，我的指头按住书的什么地方，无关紧要；这种例子满篇皆是。

最后，我说，我可看不出任何人怎么可能从这种自体繁殖式的体制中受到教育，在这种体制中，大家考试过关，再去教别人考试过关，但没人理解任何东西。“然而，”我说，“我必定说错了。我班上有两个学生，做得不赖；我认识的一位物理学家，完全是在巴西受的教育。因此，这体制坏是坏，可有些人倒也有可能在其中走出一条路子来。”

这下可好了，我话讲完了，科学教育部门的一个负责人，站起来说："费曼先生刚才对我们讲了一番逆耳之言啊。看来他是真正热爱科学啊，他的批评也是诚恳的。因此，我认为我们应该听他的。我到这儿来，已经知道我们的教育体制有病在身，我现在才知道，我们是得了癌症啊！"——他坐下了。

这使别人得到了畅所欲言的自由，大家情绪高涨。大家都站起来提建议。学生们事先组成了一个什么委员会，把我的讲稿油印了出来，他们也让别人组成委员会，来做这样那样的事情。

接下来发生的事儿，是我完全没想到的。有一个学生站起来说："我就是费曼先生在他的讲话末尾提到的那两个学生中的一个。但我不是在巴西受的教育；我是在德国受教育的，我只是今年才到了巴西。"

另一个在班里干得不赖的学生，也说了相似的事儿。我提到的那位教授，也站起来说："在战争期间，我是在巴西接受教育的，在那时，幸运的是，教授们都已经离开了这个大学，因此我学到的全部东西，都是我自己读来的。因此，我实际上不是在巴西的体制下接受教育的。"

这个，我可没想到。我知道这个体制坏，但现在它是100%的坏——这可太糟糕了！

因为我是在美国政府一个项目的赞助下到巴西的，美国教育部要我写一个报告，谈谈我在巴西的经历，所以我把刚才这个讲话的主要内容也写进了报告。后来，通过小道消息，教育部某人对此的反应是："你该明白了，把这么一个幼稚的人派到巴西，有多么危险。傻乎乎的家伙；他只能制造麻烦。这里面的问题，他不明白。"恰恰相反！教育部这主儿，看到一个大学开了课程列表，什么都说得天花乱坠，就把这当真事儿，我觉得，他才幼稚。

什么话都会说

在巴西的时候，我玩命学当地语言，拿定主意用葡萄牙语讲物理课。我一回到加州理工学院，就得到邀请，参加巴舍尔教授做东的聚会。我到场之前，巴舍尔告诉客人：“费曼这个家伙，学了几句葡萄牙语，就自以为聪明，咱们修理修理他。史密斯太太，就这位（百分之百的白人），在中国长大。咱们让她用中国话跟费曼打招呼。”

我被蒙在鼓里，溜达着来参加聚会。巴舍尔把我引荐给这些人：“费曼先生，这位是什么什么先生。”

“请来会会费曼先生。”

“这位是什么什么先生。”

“幸会，费曼先生。”

“这位是史密斯太太。”

“哎，您好！”她说，还鞠躬。

我吓了一跳，我琢磨着，只好以同样的派头作答了。我礼貌地向她弯弯腰，信心十足地说：“啊，垒好！”

“哦，我的上帝！”她叫起来，自己倒绷不住了。“我就知道会这样——我说普通话，他说广东话啊！”

照您吩咐的，老大！

每个夏天，我常常开车横穿美国，想开到太平洋边儿上。但因为各

种各样的原因，我总卡在什么地方——通常是拉斯维加斯（Las Vegas）。

我特别记得我第一次到那儿，我非常喜欢那次的经历。当时和现在一样，拉斯维加斯从赌徒那儿赚钱，因此，旅馆唯一的问题，就是把大家弄到这儿赌博。因此，旅馆里有表演，有饭，都非常便宜——和白看白吃差不多。什么都不需要你预定：你可以迈步进去，找一张空桌子，坐下，欣赏演出。对一个不赌博的人来说，这事儿太妙了——房间不贵；饭，简直不花钱，表演不错，女孩儿我喜欢。

有一天，我躺在旅馆的游泳池边上，有个家伙走过来，开始跟我搭话。我忘记他是怎么跟我聊上的，但他以为我想必是个靠工作活命的人，而这实在是相当愚蠢的。“你看我活得多潇洒，”他说，“我成天在游泳池边上流连忘返，在拉斯维加斯优哉游哉。”

“你不干活儿，怎么还活得这么滋润？”

“简单，我赌马。”

“我对马一窍不通，但我看不出，你怎么能靠赌马过日子。”我满腹狐疑地说。

“当然能，”他说，“我就是这么过日子的！我告诉你是怎么回事儿，我教教你怎么弄这个事儿。待会儿我们去赌一把，我保证你赢100块。”

“你怎么弄的？”

“我赌100块，赌你赢，”他说，“这样的话，如果你赢了，你一个大子儿也不用出；如果你输了，你就赢我100块！”

我就想了："嚯！那好啊！如果我在赛马上赢100块，那就给他了，我不损失什么；权当练练手——那就证明他那套管用。如果他输了，我就赢他100块。这很妙！"

他带我到了一个赌马的地方，那里列着马的名字和全国各地赛马场的名字。他把我介绍给另外一些人，他们说："嚯，他很了不起！我赢了100块！"

我逐渐意识到，我必须押上我自己的一些钱才能赌，我开始有点儿紧张了。"我必须赌多少钱？"我问。"哦，三四百块吧。"我没那么多钱。再说，这事儿让我着急了：要是我输了呢？

于是他说："我告诉你这是怎么回事儿：我的建议只花你50块，如果这主意灵验，我就给你100块，你横竖都是赢嘛。"我琢磨着，"哇！这样我两头儿都赢——不是赢50，就是赢100！这主儿怎么能这么办？"稍后，我明白了：如果你输赢机会平均的话——把听他的建议以便理解其中的奥妙所付出的小小损失暂且忘掉——那么你赢100块的机会比你输400块的机会是四比一。因此，他在某个人身上试这一招儿，试五次，他就有四次赢100块，他就能赢200块顾问费（他还要向他们说明白自己是多么聪明）；到第五次，他必须付出100块。因此平均来说，他每付出100块，就能得到200块！因此，我终于明白了他是怎么弄的。

这个过程持续好几天。他设计出了一个乍听起来非常合算的方案，但等我思考了一阵子之后，我慢慢琢磨出了这是怎么弄的。最后，他有点儿气急败坏地说："好了，我告诉你这是怎么回事儿：你给我50块买建议，如果你输了，我就把你的钱全还给你。"

现在，我想输都输不了了！因此我说："好吧，成交！"

“好，”他说，“但不凑巧，我这个周末得去旧金山一趟，你把结果寄给我得了，如果你把你那400块输掉了，我会把钱寄给你。”

他的前几个方案，设计出来，是凭诚实的数学计算为他赚钱的。现在，他却要出城了。他拿这个方案赚钱的唯一办法，是不把钱寄过来——当个真正的骗子。

因此，我从来没有接受他任何建议。但看明白他怎么操作这一套，堪为乐事。

拉斯维加斯的另一乐事，是认识表演的女孩儿。我猜，她们是在表演之外的空闲时候，在酒吧里拉客的。我这么见了她们好几个，跟她们聊天，发现她们人都很好。“表演女郎，哦？”这么说话的那些人，对她们有先入之见！可在任何人堆儿里，如果你看仔细了，那就什么样的人都有。比方说，东海岸一个大学里的一个院长的女儿，就在那儿。她有舞蹈天赋，喜欢跳舞，放暑假了，跳舞的工作难找，于是她就到拉斯维加斯，在一个歌舞团里找了个工作。大多数表演女郎人都很好的，很友好。她们都很漂亮，而我就是爱漂亮女孩儿。说穿了，表演女郎是我如此喜欢拉斯维加斯的真正原因。

起先，我有点儿害怕：这些女孩儿也太漂亮了，她们有怎么怎么样的名声，等等。我就想办法跟她们见面，我说话的时候，呼吸都有点急促呢。刚开始的时候，很难；但是，渐渐地，事儿容易了，最后我信心十足，不怵任何人。

我有我自己的冒险路数，这路数很难解释的：那好像是钓鱼。你把线放出去，然后呢，你需要点儿耐心。当我对人家讲起我的一些冒险经历的时候，他们或许会说：“哦，来啊——咱们干这个去！”于是我们就去了一个酒吧，看看能不能弄出点事儿，可20来分钟，他们就不耐烦了。平均而言，要想弄出事儿，你得等上几天。我花费了许多时间来跟

表演女孩儿聊。一个女孩儿把我介绍给另一个，过了一阵子之后，有意思的事儿就常常会发生。

我记得一个喜欢喝吉普森酒的女孩儿。她在“火烈鸟旅馆”跳舞，我跟她很熟。我进城的时候，不等她坐下，我就给她要一杯吉普森，放在她桌子上，以此宣布我大驾光临。

有一次，我进来，坐在她身边，她说：“我今天晚上要和一个男人在一块儿——得克萨斯州的一个阔佬。”（我早就听说过这家伙。每当他玩双骰子的时候，大家都凑过来看他赌。）在他回到我们坐的这桌的时候，我的表演女孩儿把我引荐给了他。

他跟我说的头一句话是：“你可知道？昨儿晚上我在这儿输了6万美元。”

我知道怎么应对，我转朝他，完全无动于衷，说：“你觉得，那是聪明，还是愚蠢？”

我们正在餐厅里吃早饭。他说：“听着，让我来替你签单。这些东西，他们从来不要我钱，因为我在这儿赌得太多了。”

“我有的是钱，用不着操心谁来给我付早饭钱，谢谢。”他每次想给我摆阔，我都不买他的账。

他什么招数都用：他有多么富，他在得克萨斯州有多少石油，没一样灵的，因为我知道这种套路！

到最后，我们一道找了不少乐子。

有一次，我们两个坐在酒吧里，他说：“你看那边那桌，那些妞儿？她们是从洛杉矶来的婊子。”

她们相貌非常漂亮，是有一定级别的呢。

他说：“告诉你我要干什么：我会把她们介绍给你，然后呢，你挑一个，我来付钱。”

我不觉得我想见这些女孩儿，我也知道他说这个，是为了给我摆阔，于是我就对他说不。可我转念一想：“这里头有事儿！这家伙不遗余力跟我摆阔，还要为我买这个。如果我将来讲起这档子事儿……”于是我就对他说：“那个，好吧，为我引荐。”

我们凑到她们那桌，他把我介绍给那些女孩儿说：然后就暂避一边了。一个女服务员过来了，问我们想喝点儿什么。我要了些水，坐我旁边的那女孩儿说：“我来杯香槟好吗？”

“你要什么都成，”我冷冷地回道，“你自己买，谁管得着。”

“什么毛病啊，你？”她说，“小气鬼儿还是怎么着？”

“随你怎么说。”

“你真不够绅士！”她义愤填膺地说。

“你真是一眼把我看了个透！”

我回嘴。鄙人以前在新墨西哥州学习过，学习不当绅士。

很快很快，她们倒主动给我买喝的——真是乾坤颠倒啊！（顺便说句，得克萨斯的那位卖石油的，一去不回头了。）

过了一阵子，其中的一个女孩儿说：“咱到艾拉大棚屋（El Rancho）去吧。说不定那儿现在事儿热闹了。”我们进了她们的车。车不错，人也不错啊。在路上，她们问我名字。

“迪克·费曼。”

“你打哪儿来的，迪克？你干什么的啊？”

“我是从帕萨迪纳来的，在加州理工学院工作。”

有个女孩儿说：“哦，那不是那个科学家鲍林[48]待的地方吗？”

我反反复复到过拉斯维加斯好几次，但那儿没人知道科学的事儿。我曾经和一个商人谈过各种各样的事儿，对他们而言，一个科学家，什么也不是。“没错。”我说，心里惊讶。

“有个叫盖伦还是什么玩意儿的家伙——是个物理学家。”简直难以置信。我坐的这个车，满车的妓女，都知道这类事儿！

“是啊！他名叫盖尔曼[49]！你怎么凑巧知道？”

“你们的照片都上《时代》周刊了啊。”这不假，《时代》周刊里常有美国科学家的照片，不知什么原因，我也进去过，还有鲍林和盖尔曼。

“你怎么记得住那些名字啊？”我问。

“哈，我们从照片里找最年轻漂亮的！”（盖尔曼比我年轻。）

我们到了艾拉大棚屋旅馆，女孩儿们继续跟我玩儿大家通常跟她们玩儿的那一套游戏：“想赌一把吗？”她们问。我用她们的钱赌了一点点儿，我们玩儿得很开心。

过了一阵子，她们说：“好了，我们看到你这个大活人了，现在不得不把你撇下了。”她们回去工作了。

有一次我坐在酒吧里，我注意到两个女孩儿和一个老头儿在一块儿。最后，老头儿走了，她俩就凑到我这儿来坐下：比较漂亮、比较活跃的那个，挨着我坐，她那位木讷的朋友，叫潘，坐在另一边。

事儿一开始就进行得很顺利。她非常和气。一会儿工夫，她就靠在我身上，我呢，把一只胳膊搭在她肩上。进来两个男的，坐在近旁的桌子那儿，然后，女服务员还没来得及过来，这两位却出去了。

“你看见那俩男的了吗？”我的新朋友说。

“看见了。”

“他们是我丈夫的朋友。”

“哦？怎么回事儿？”

“你知道，我刚刚和约翰老大结婚了。”——她提到的是一个如雷贯耳的名字——“我们拌了几句嘴。我们这是度着蜜月呢，可约翰总在赌。他不把我放在眼里，那我就出去找我的乐子去，可他总是派特务来转悠，看看我在干什么。”

她要我把她送到她的汽车旅馆的房间里，于是我们就上了我的汽车。在路上，我问她：“那个，约翰怎么办？”

她说：“别担心。看看周围有没有个大红汽车，有两根天线的。要是你没找到，那他就不在附近。”

第二个晚上，我带着这位“喜欢吉布森鸡尾酒的女孩儿”和她的一个朋友，去看“银拖鞋旅馆”的晚场表演，那儿的表演比别的旅馆都晚。在别的地方表演完了的女孩儿，都喜欢到那儿去。各种各样的舞女进门的时候，节目主持人就报奏她们大驾光临。因此，当我两只胳膊上挎着两

位可爱的舞女款款入场的时候，他说道：“从火烈鸟来的什么什么小姐和什么什么小姐大驾光临！”大家都扭头看这是谁来了。我感觉自己好伟大！

我们找了张靠近吧台的桌子，坐下来，过了一会儿，起了一阵子小小的慌乱——服务员拉桌子，几个保镖登堂入室，还带枪呢。他们在为名人腾地方呢。约翰老大，大驾光临！

他走到吧台那儿，与我们这桌子挨着，立刻有两个家伙想和我带来的这俩女孩儿跳舞。她们去跳舞，我一个人守着桌子坐着，这时，约翰走过来，坐在我这桌上。“还好吗？”他说，“你在拉斯维加斯，干吗来着？”

他准是发现我和他老婆的什么事儿了。“鬼混呗……”（我得硬气点儿，对吧？）

“你，在这儿鬼混了多少日子？”

“四五个晚上吧。”

“我认得你，”他说，“在佛罗里达，我见过你吗？”

“这个嘛，鄙人确实不知……”

他问这个地方，问那个地方，不知道他葫芦里卖的什么药。“我知道，”他说，“那是在艾拉摩洛哥的事儿。”（艾拉摩洛哥是纽约的一家大夜总会，许多大玩家都去的——比方说理论物理学教授什么的，对吧？）

“一定是在那儿了。”我说。我在想，他到底什么时候才能翻开底牌。最后，他朝我倾过来，说：“嗨，你能不能把我引荐给跟你在一块

儿的那俩女孩儿，等她们跳完舞？”

他想要的是这个啊；原来他根本不认识我！于是我就想引荐他，但我的表演女孩儿说她们累了，想回家。

第二天下午，我在火烈鸟旅馆看见了约翰老大。他站在吧台边，跟服务员聊照相机，还拍照片呢。他想必是一个业余摄影家了：闪光灯和照相机，他有一大堆；但他说的那些话，却傻瓜透顶。我断定他根本不是个业余摄影家；他不过是个有钱的主儿，买了几个照相机而已。

到那时候，我琢磨清楚了，他并不知道我一直在跟他老婆鬼混；他跟我说话，只是为了那俩女孩儿。于是我就想玩个游戏，我为自己设计了个角色：约翰老大的随从。

“嗨，约翰，”我说，“拍几张照片吧。我替你拿着闪光灯。”

我把那些闪光灯装在口袋里，我们就出发去拍照片了。我在把闪光灯递给他的时候，时不时地给他点儿建议；他喜欢这路事儿。

我们到了“前线旅馆”去赌，他开始赢了。旅馆都不喜欢赢家离开，但我看得出他想走。问题是，怎么走才不失风度。

“约翰，我们现在必得走了啊。”我说，语气严重。

“可我赢着呢。”

“知道你赢着，可我们今天下午不是有个约会吗？”

“那好吧，备车。”

“照您吩咐的，老大！”他把钥匙递给我，告诉我车是什么样子。（我没让他知道我早知道他车是什么样子。）

我出去，到了停车场那儿，果然，那儿有一部大胖车，漂亮透了，还有两根天线。我爬到里边去，转动钥匙——启动不了。这车有个自动打火器；这玩意刚出来，我一点儿不懂。折腾了一阵子，我碰巧把钥匙转到了“打火”上，启动了。我小心翼翼地把这辆百万美元的车，开到旅馆门口。我下了车，到里面那桌子，他还在赌呢，我说：“车预备好了，先生！”

“恕不奉陪了。”他宣布，我们离开。他让我开车。“我想去艾拉大棚屋。”他说，“那儿的女孩儿，你认得吗？”

那里有个女孩儿，我很熟，我就说“认得啊”。到那时候，我拿得准，他跟我玩我发明的这个游戏，唯一的目的，就是会女孩儿，所以我提出了一个敏感话题：“有天晚上，我见着你老婆了……”

“我老婆？我老婆不在拉斯维加斯这地方。”我就把我在酒吧遇到那个女孩儿的事儿，告诉了他。“哦！我知道你说的是谁了；我在洛杉矶那儿，见到那个女孩儿和她朋友，就把她们带到拉斯维加斯这儿来。她们干的头一件事儿，就是用我的电话，给得克萨斯州的朋友打电话，打了一小时啊。我气坏了，就把她们给轰了出去！她就到处告诉大家，说她是我老婆，呃？”因此，这事儿，算是澄清了。

我们到了艾拉大棚屋，大约15分钟，表演就开始了。这地方人多，屋子里没座位了。约翰就到总监那儿，说：“我，需要张桌子。”

“敢情，老大先生！几分钟就给您预备着。”约翰给了他小费，转身去赌了。同时，我转到后边去，女孩儿们都在那儿为演出做准备呢，问我的朋友在不在。她出来了，我跟她说，约翰老大跟我在一块儿。演出之后呢，他需要有人陪陪。

“没问题，迪克，”她说，“表演完了，我带几个朋友过来见你。”

我转到前面来找约翰老大。他还在赌。“你先一个人进去，”他说，“我随后就到。”

有两张空桌子，在紧前头，紧贴着舞台边儿。别的桌子，都满满当当的。我自己一个人坐下。就在开演之前，约翰进来了，表演女孩儿就出场了。她们看得见我就坐在这张桌子那儿，一个人坐着。还没等她们来得及以为我不过是个偶尔来玩玩儿的教授，现在她们该明白，我是一个大赌家啊。

最后约翰进来了，很快几个人就占了我们旁边那桌子——约翰的“老婆”和她朋友潘，还有两个男的！

我倾过身去，对约翰说：“她在那张桌子那儿。”

“是啊。”

她看到我在照顾约翰，所以她就从另一张桌子那儿侧着身子问我：“我可以和约翰说几句话吗？”

我一言不发，约翰也一言不发。

我等了一会儿，然后，我倾过身去，对约翰说：“她想跟你说话。”

然后，他稍作沉吟。“可以。”他说。

我等的时间还长点儿，然后向她侧过身：“现在，约翰要对你讲话。”

她走到我们这桌来，开始卖弄她那套“翰翰”，坐得离他也太近了。我看得出来，事情还是稍微缓和了一点儿。

我喜欢搞点儿恶作剧，所以，每当他们有所缓和的时候，我就提醒

约翰点事儿："电话啊，约翰……"

"是啊！"他说，"打我电话，打一小时，什么意思啊？"

她说，打电话的是潘。

事儿又缓和了一点儿，于是我指出，把潘带到这儿，可是她的主意。

"是啊！"他说。（我玩这个游戏，玩得好开心，这么玩了好一阵子。）

到表演结束的时候，艾拉大棚屋的女孩儿们来到我们这桌儿，我们跟她们聊，直聊到她们不得不去演下一场。然后，约翰说："我知道一个不错的小酒吧，离这儿不远。咱到那儿走一遭。"

我开车把他送到那个酒吧那儿，我们进去了。"看到那边那娘们儿了吗？"他说，"她实在是个好律师。过来，我给你引荐引荐。"

约翰为我们做了介绍，找了个借口，去了洗手间。他一去不回头。我以为他还回来跟他"老婆"重修旧好呢，那样我就再开始捣乱。

我对那娘们儿说"嗨"，为我自己点了一杯喝的。（我玩的还是那一套：不在乎别人怎么看，不想当绅士。）

"你可知道，"她对我说，"在拉斯维加斯，在律师当中，我是数得着的。"

"哦，数不着，数不着你，"我淡淡地回答，"在大白天的时候，你或许是个律师；但是，现在，你知道你是个什么东西？你不过是在拉斯维加斯的小酒吧里，鬼混，如此而已。"

她喜欢我，我们到了好几个地方跳舞。她舞跳得真不赖，我呢，爱跳舞，所以我们在一块儿玩得很开心。

接下来，正跳着舞呢，冷不丁地，我后背疼起来。那是一种剧痛，而且来得突然。我现在明白那是怎么回事儿：一连三天三夜，我搞这些疯狂的冒险，我是彻底虚了。

她说，她要把我带到她家去。我一钻到她床上，砰腾一声，就昏睡过去。

第二天早晨，我在这张漂亮的床上醒来。窗外阳光灿烂，却不见她的踪影，有一个女仆在那儿。“先生，”她说，“您醒了啊？早饭给您预备好了。”

“那个，呃……”

“我给您拿去。您喜欢吃什么？”她把整张早餐菜谱念了一遍。

我点了早饭，在床上吃了——在一个素昧平生的女人的床上；我不知道她是何许人，不知道她从哪儿来。

我问了这女仆几个问题，可她对这个神秘的女人，也是一无所知：她刚刚被雇到这儿，这是她上班的第一天。她还以为我是这家的男主人呢，我倒问她问题，这叫她好生纳闷。我穿好衣服，最后离开了。我再也没有见到这个神秘的女人。

我第一次到拉斯维加斯的时候，就坐下来把各种赌博的概率都算出来了，我发现掷骰子的概率是0.493的样子。如果我赌1块钱，只需要花费我1.4分钱。于是，我心里想：“为什么我这么不情愿赌？这几乎不花什么钱啊！”

于是我就开始赌，一眨眼，我就一口气输了5块钱——1块、2块、3块、4块、5块。我本来以为只会输7分钱，但我输了5块啊！我从此以后再也没赌过（我是说，没用自己的钱赌）。才一试手，就输，我很幸运。

有一次，我和一个表演女孩儿一块儿吃午饭。下午这个点儿，静悄悄的；不像别的时候那样，人都急匆匆的。她说："看那边儿那主儿，正穿过草地的那位？那是'希腊人尼克'，一个职业赌棍。"

我已经对拉斯维加斯的全部赌博概率了如指掌，我就说："他们怎么能够拿赌博当职业呢？"

"我喊他过来。"

尼克过来了，她为我们做了介绍。"玛丽莲说你是个职业赌家。"

"她说的没错儿。"

"那个，我想知道，你靠赌博过日子，这怎么可能，因为在赌桌上，胜算是0.493。"

"你说得对，"他说，"我会给你讲明白。我不在桌子上赌，也不干任何那类事儿。我只是在机会对我有利的时候才赌。"

"啊？什么时候机会对你有利啊？"我满腹狐疑地问。

"实际上很容易，"他说，"我在桌子边儿站着，等有个家伙说，'我要9点，它就来9点！'这家伙兴奋了；他以为那会是9点，他想赢。可我知道全部数字的概率，于是我就对他说，'我以4块赌你3块，我赌不是9点'，时间长了，我会赢。我不在桌子上赌；我和在桌子上玩儿的那些心存偏见的人赌——他们迷信幸运数字。"

尼克继续说：“既然我现在已经名声在外，事儿就更容易了，因为大家甚至在知道概率不很有利的时候，也还是要和我赌，只为有机会跟大家讲怎么打败希腊人尼克，这得在他们赢了的时候才成。因此，我真的是靠赌博过日子的，很好玩儿啊！”

因此，希腊人尼克真是个受过教育的人。他人很好，很有魅力。我感谢他为我解释这事儿；现在我明白了。我一定要理解这个世界，你知道。

盛情难承

康奈尔大学什么系都有，但我兴趣都不很大。（这意思，不是说这些系有什么毛病；是我碰巧对这些系不感兴趣而已。）有家政学、哲学（这个系的家伙，脑袋尤其空），还有文化的东西——音乐之类。当然，跟我言语投机的人，还真有几个。数学系有凯克（Kac）教授和菲勒（Feller）教授；化学系，有加尔文（Calvin）教授；动物学系还有个很了不起的家伙，就是格里芬（Gri n）博士，发现蝙蝠用回声导航的，就是他。但要找到足够多的这类谈话对手，难。但低水平的信口雌黄，却有的是。

天气也实在不佳。有一天，我正开着车，没想到天上急匆匆地下起雪来，你没防备这个，你就琢磨：“哦，不会下得太大吧；我继续开得了。”

可那雪接着就厚起来，车开始有点儿打滑，所以你不得不用防滑链。你从车里出来，把链子铺在雪地里，链子冰凉啊，你也开始瑟瑟发抖了。然后，你把车倒在链子上，你麻烦来了——或者说，那年头，我们就有这个麻烦；下雪的时候，我不知道怎么办了——里头有个链子，你必得把这个链子先钩住。因为链子必须扣得很紧才成，让钩子钩住链

子，就难了去了。然后，你不得不用手指头，把这个夹子扳下去，到这时候，你的手几乎冻僵了。因为你在车胎的外头，可钩子在里头，你的手又冻僵了，要把事儿办妥，太难了。链子总是滑掉，链子还冰凉，雪又下得紧，你想把这个夹子扳下去，你的手冻得好似猫啃，可这倒霉玩意儿就是不下来——好了，我记得就是那个时刻，我想明白了：这是犯傻。世界上必定有个地方，没这种麻烦。

我记得我去过几次加州理工学院，巴舍尔教授请我去的，他早先在康奈尔大学。我去访问的时候，他很机灵。他对我太了解了，于是他说："费曼，我有辆车，用不着，我想把它借给你。现在你就可以去好莱坞和落日带（Sunset Strip），好好玩儿。"

于是，我每天晚上就开着这车到落日带去——去夜总会，去酒吧，去看表演。都是拉斯维加斯的那种我喜欢的东西——漂亮女孩儿、大赌家之类。巴舍尔知道怎么使我对加州理工学院发生兴趣。

一头驴，不偏不倚站在两堆干草正中间，不知道到哪边去，因为两堆干草完全一样，这故事，你知道吧？呵，不知道就算了。康奈尔大学和加州理工学院开始给我提供条件，我琢磨着加州理工学院比较好，正当我开始动身的时候，康奈尔那边儿就加码了；到我觉得留在康奈尔的时候，加州理工学院那边儿又加了点什么好处。因此，你能够想象得到，两堆干草中间的这头驴，只是情况更复杂，他刚要到一边儿去，另一边儿就高了一点儿。这真叫人左右为难！

最后把我说服气了的一个论点，是我的休假年。我还想到巴西去，这次是10个月，我刚刚在康奈尔大学获得了休假年。我不想失去休假年，因此现在我就发明了一个理由，好做出决定，我就写了封信给巴舍尔，告诉他我做出了什么决定。

加州理工学院回信："我们将立刻聘请您，您的第一年就是休假

年。”他们就是这么个搞法：无论我决定怎么做，他们都死叮住你不放。因此，我在加州理工学院的第一年，实际上是在巴西度过的。我在第二年才到加州理工学院教书。事儿就是这么个事儿。

我从1951年就一直在加州理工学院了，我在那儿一直很开心。这个学校，正合我这种偏执的家伙的口味儿。那儿有的是顶尖级的人物，对自己干的事儿都很感兴趣，我也跟他们谈得来。所以我觉得非常称心如意。

可是，有一天，那是我在加州理工学院好长时间了，我们遭到了很严重的烟雾袭击。那烟雾，比现在的可厉害得多——至少你的眼睛要疼得多。我站在一个角落里，泪眼汪汪的，我心里说：“这简直发疯！这绝对是神经病！最好是回康奈尔大学去。我要离开这个鬼地方。”

于是我就给康奈尔打电话，问他们，我有没有可能回去。他们说：“没问题！我们这就把事情安排好，你明天就过来。”

第二天，我在做这个决定的时候，幸运得不能再幸运了。老天爷必定是安排好了，好帮助我下定决心。我正往我办公室那儿走呢，一个家伙跑过来，对我说：“嗨，费曼！你听说出什么事儿了吗？巴德[50]发现有两种不同的恒星！我们原来测量的我们到各星系的距离，都是以一种类型的造父变星为根据的，可现在有另一种类型，因此，宇宙的年龄会是我们原来设想的2倍、3倍，甚至4倍！”

我知道这个问题。在那年头，地球似乎比宇宙还古老。地球有45亿年，宇宙却只有20亿或30亿年。这是一个大难题。这个发现，使一切问题迎刃而解：现在，事实证明宇宙比以前设想的要老。我马上就得到了这一信息——这家伙跑来，把这件事儿都告诉了我。

还没等我穿过校园到我办公室去，另一个家伙过来了——马特·梅

瑟尔森（Matt Meselson），一个副修物理学的生物学家。（我曾经是他的博士论文的答辩委员。）他建立了第一台我们称之为“密度梯度离心分离机”的东西——它能测量分子密度。他说：“看我正在做的这个实验的结果！”

他已经证明，当一个细菌制造一个新细菌的时候，有个分子，原封不动地由一个细菌传给了另一个细菌——我们现在知道，这分子就是DNA。你知道，我们总是认为一切东西都分裂、分裂。因此，我们以为细菌里的一切都一分为二，把其中的一半给了那个新细菌，但那是不可能的。不知在什么地方，那个包含着遗传信息的最小分子，不能够一分为二，而必须复制出一份它自身的拷贝，然后把这份拷贝送给那个新细菌，把另一份留给那个老细菌。梅瑟尔森是这么证明这一点的：他先让细菌在重氮中生长，然后让它们在普通的氮气中生长。他进行实验的时候，用密度梯度离心分离机来测量分子的重量。

第一代新细菌的全部染色体分子的重量，刚好在重氮中细菌染色体分子的重量和在普通氮气中的细菌的染色体分子的重量之间——如果一切都分裂，连染色体分子也分裂，结果就会是这样。

但在随后的几代细菌当中，当我们期望染色体分子重量将是重氮和普通氮情况下的分子重量之差的1/4、1/8和1/16的时候，分子重量却只有两组。一组和第一代一样重（在较重和较轻的分子正中间），而另一组轻些——其重量就是在普通氮气中弄的分子的重量。较重的分子个数的百分比，每过一代，就减少一半，但其重量不变。这可太令人兴奋了——这是一项基础性发现。在我终于到了我办公室的时候，我意识到，我必须待在这地方了。在这里，不同科学领域中的人，都告诉我事儿，这太令人兴奋了。这才是我真想要的东西，真想要的。

因此，过了一会儿，康奈尔大学打电话来，说他们把一切都安排妥了，这就快准备好了，我说：“我很抱歉，我主意又变了。”但是，我当

时决定永远不再变了。没什么事情——绝对没什么事情——能够再次改变我的想法。

你在年轻的时候，你有的是这种闹心的事儿——你该到哪儿去吗，你怎么办。你真上火啊，想拿定主意，可接着又来了别的事儿。怎么简单，就怎么决定，倒来得容易些。别担心——没什么能够改变你的主意。我在麻省理工学院，就曾经这么做了一次决定。我在食堂吃饭的时候，懒得为吃什么甜点费心思了，因此我就决定总要巧克力冰淇淋，永远不再为这事儿操心——我就是这么解决那个问题的。无论如何，我决定永远留在加州理工学院了。

有一次，有人想让我对加州理工学院变卦。费米刚刚去世不久，芝加哥大学在找人接任他的位置。芝加哥大学过来两个人，要到我家来看看我——我不知道他们是为什么事儿。他们开始给我讲，我应该到芝加哥大学的所有的好理由：我能干这个，我能干那个，他们那里大人物很多，我有机会做各种各样有意思的事儿。我没问他们会给我多少钱。他们不停地暗示，如果我问的话，他们就告诉我。最后，他们问我，想不想知道薪水多少。“哦，不！”我说，“我已经决定待在加州理工学院。我妻子玛丽·娄在隔壁，如果她听到薪水是多少，我们又该吵了。除此之外，我已经决定不再变了；我永远待在加州理工学院。”因此，我不让他们告诉我他们给的薪水有多少。

大约1个月以后，我在开一个会，利昂娜·马歇尔（Leona Marshall）过来说：“你不接受我们芝加哥大学的条件，可真够滑稽的。我们大失所望啊，我们搞不明白，你怎么能拒绝这么优厚的待遇。”

“容易，”我说，“因为我没让他们告诉我那是多少钱。”

一个星期之后，我收到了她的一封信。我打开信，第一句话是：“他们提供的薪水是——”一大笔钱啊，是我当时薪水的三四倍。

晕！她在信里继续说："在你还能继续读这封信之前，我就把薪水告诉你了。也许你现在愿意重新考虑一下，因为他们告诉我，那个位置还在为你预备着，我们非常希望你成为我们的一员。"

于是我给他们回了一封信："在信里看到这么一大笔钱，我觉得，我必须谢绝。我不得不谢绝这份薪金的原因，是我将有能力做我一直想做的事儿——找个迷人的情妇，为她买一座漂亮的房子，给她买好东西……用你们给的这份薪水，我必定真的会这么做，我知道那会是什么结果。我会为她操心，挂念她在干什么，我们会吵架。我回家的时候，又会如何如何。这些闹心的事儿，会让我寝食不安，会让我心情不快。我搞物理也搞不好了，一切都将是一团糟！我一直想做的这种事情，对我是很坏的，因此，我已经决定，我不能接受你们的好意。"

第5部分　一个物理学家的世界

你解狄拉克方程吗？

我在巴西那年的岁末，收到了惠勒教授的来信，说在日本将有一个理论物理学的国际会议，我喜欢不喜欢去？日本在战前有几位有名的物理学家——诺贝尔奖得主汤川秀树[51]和朝永振一郎[52]以及仁科芳雄等——但这次会议，是战后日本恢复生机的第一个迹象，我们都认为应该去帮助他们。

惠勒还随信寄来了一本军用短语手册，他写道，我们大家都学点儿日语，会很有意思。我在巴西找到了个日本妇女，教我发音，我还练习用筷子夹起纸片儿，读了很多关于日本的东西。那时候，对我来说，日本很神秘，到这么一个奇怪而奇妙的国家，该是很有趣儿的，所以我很用功。

等我们到了那儿，大家在机场见了面，我们被送到东京的一家旅馆。这旅馆是弗兰克·劳埃德·赖特[53]设计的。这是模仿欧洲旅馆里头的小个子家伙，穿着一身制服，活脱就是菲利普·莫利斯（Philip Morris）[54]。我们这不是在日本；这明明是在欧洲或者美国嘛！送我们到房间的那家伙，磨蹭着不走，把窗帘拉来拉去，等着你给他小费呢。什么东西都像是美国的。

我们的主人把一切都安排妥了。第一天晚上，我们在旅馆的楼顶上吃晚饭，为我们服务的女人，打扮是日本的，可菜单是英语的。

为了学会几个日语短语，我遇到的麻烦可不少。到晚饭将近结束的

时候，我对女服务员说，“Kohi-o motte kite kudasai.”她一鞠躬，退一边儿去了。

我的朋友马沙克（Marshak）一叠连声地说：“什么、什么？”

“我说日语呢。”我说。

“哈，装模作样！你走哪儿都没正经，费曼。”

“这话怎么说的？”我说，语气很正经的。

“那好，”他说，“你刚才说什么来着？”

“我让她拿咖啡来。”

马沙克不相信。“我跟你打赌，”他说，“如果她把咖啡拿……”

女服务员出现了，端着咖啡，马沙克输了。

原来，只有我一个人学会了几句日本话——甚至惠勒，他还告诉大家都应该学日语呢，也一点儿没学会——我再也受不了了。我读了很多关于日本风格的旅馆的书，我们住的旅馆应该完全跟这个不一样嘛。

第二天早晨，我把那个把一切都安排妥当的日本家伙叫到我房间来，“我想住在日本风格的旅馆里。”

“这恐怕不可能啊，费曼教授。”

我在书上读过，日本人很礼貌，但也很固执：你得一直做他们的工作才成。因此，我拿定主意，跟他们一样固执，也跟他们同样礼貌。那是一场脑筋搏斗：这么来来回回的，折腾了30分钟。

“你为什么想去住日本风格的旅馆？”

“因为在这个旅馆里，我感觉不到我在日本。”

“日本风格的旅馆，一点儿都不好啊。你得睡在地板上。”

“我要的就是这个；我想看看是怎么个样子。”

“还没椅子哪——你呢，守着桌子坐地上。”

“没问题。那很好玩儿。那就是我要找的东西。”

最后，他才把难言之隐说了出来：“如果您住别的旅馆，汽车到会场的时候，得多停一站。”

“不用，不用！”我说，“早晨，我到这个旅馆来，在这儿上车。”

“那就妥了。好。”啰唆半天，都为这个——好像花费半小时才触及真实问题，倒无关紧要似的。

他走到电话机那儿，要给别的旅馆打电话；走着走着，突然停下来了；又掉链子了。我又花了15分钟才发现，这次是为了信件收发的事儿。如果会上有什么消息，他们都已经安排好了该去哪儿传达。

“没问题啊，”我说，“我早晨来坐车的时候，就在这个旅馆拿走给我的信啊、材料什么的。”

“那成。好。”他打电话去了，最后，我们终于往那个日本风格的旅馆走了。

我们一到那儿，我就觉得值啊：太可爱了！前头呢，有个地方，好脱鞋；然后呢，有个女孩儿，穿着民族衣服——宽腰带——穿着木屐，悉悉索索，碎步而出，拿了你的东西；你跟在她后头，穿过走廊，走廊上还铺着草席子呢，把纸糊的拉门拨开，她呢，喳喳喳喳，小碎步走

着。这整个太有意思了！

我们进了房间，把一切都安排妥当的那家伙，一路跟来，疲惫不堪，然后用自己的鼻子碰一下地板；她呢，赶紧跪下去，也用自己的鼻子碰一下地板。我觉得自己好尴尬。我也应该用我的鼻子碰一下地板吗？

他们这么互相打了招呼，他认可了给我的这个房间，出去了。这实在是个好玩的房间。到处都是照规矩弄的、符合标准的东西，这现在你都知道；可当时，在我看来，都无不新鲜。有个小壁龛，里头还有一幅画；一个花瓶，漂漂亮亮地斜插着几枝褪色柳；一方小桌，地板上放着，近旁铺好了软垫；屋子尽头，是两扇拉门，迈步出去，便是花园。

照顾我的这位太太，是位中年妇女。她帮我宽衣解带，给了我一件尤卡塔，就是一件简朴的蓝白便服，好在旅馆里穿。

我开了门，欣赏这个可爱的花园，然后坐在桌子边，做点儿小小的工作。

我在那儿待了15或20多分钟，一件东西吸引了我的目光。我抬眼一看，就在花园那厢，在门口那儿，门边还有帘子，我瞥见一位非常漂亮的年轻日本妇人，一身华裳。

关于日本的风俗，我读过不少，我心里扑腾开了：谁派她来干吗。我暗想："这，或许会非常有趣啊！"

她稍知英语。"您，花园，喜欢看看？"她问。

我套上和我穿的尤卡塔相配的鞋子，我们就步入花园。她挽着我的胳膊，指给我看这看那。

到头来，事儿是这样：她知道点儿英语，旅馆经理就想，或许我喜欢她带我去浏览一下花园——不过如此而已。我有那么点儿失望，当然；但这是文化相会呀，我也知道，想入非非，想的不是时候。

过了一阵子，照料我房间的那位妇人进来，说了点儿什么关于洗澡的话——用日语说的。我知道日本的洗澡，很有意思，迫不及待地要以身尝试，于是我说：“嗨！”

我在书上看到过，说是日本的洗澡，非常复杂。他们用好多的水，而水是在外头烧的，而且，你不可把肥皂弄进洗澡水里，那会把水弄脏，下个人还得用这水呢。

我站起来，迈进浴室，那儿有洗手盆，我听得见隔壁那家伙，也正关着门在家洗澡呢。突然之间，门儿拉开了：正在洗澡的那主儿，想看看这个不速之客是谁。“教授！”他用英语对我说。“别人在洗澡，您却闯进了洗澡间，这错得都离谱了！”那人是汤川教授！

他告诉我说，那妇人问过我，我想洗澡吗，此事无可怀疑；果真如此，她会为我善加准备，等洗澡间无人之时，她会禀告我的。世界上犯过如此严重的社交错误的，大有人在；幸运的是，我犯在汤川教授手里！

那个日本风格的旅馆，真是好玩；有人来访，尤其好玩。别的家伙来到我屋，席地而坐，谈吐挥霍。我们还坐不到5分钟，照料我屋子的那位妇人，就端着糖盘、茶盘进来了。好像你就是主人，这儿就是你自己的家，旅馆的工作人员呢，是帮助你招待宾客的。在美国，有客人造访你的旅馆房间，没人理你；你必得打电话叫人过来服务，如此等等。

在这个旅馆吃饭，也别有情调。那个把托盘送来的女孩儿，在你吃饭的时候，会待在这儿陪着你，所以你不觉得孤独。我没法和她好好聊

聊，但不妨事儿的。饭也美妙。比方说，汤上来了，是盛在盖着盖儿的碗里的。你掀开盖儿，里头是一幅漂亮的画：小块的葱叶，就那样在汤上漂着；美哉。食物放在盘子里，样子如何，很讲究的咯。

我拿定主意，我得尽可能像日本人那样生活。我说这话的意思，是吃鱼。我从小到大，就不喜欢吃鱼；但是，在日本，我发现，不吃鱼，可有点儿孩子气了：我吃了很多鱼，而且吃得有滋有味。（等我回到了美国，我做的头一件事儿，是直奔鱼那儿。可怕——跟从前一样可怕。我受不了鱼。后来，我发现了答案：鱼必得非常、非常新鲜——要是不这么新鲜，它就有股子味儿，我烦这味儿。）

有一次，我在这家日本风格的旅馆里吃饭的时候，他们给我上了一个圆形的、硬硬的玩意儿，跟鸡蛋黄大小相似，放在一杯黄色液体当中。到目前为止，日本的什么东西，我都吃过；但这玩意儿，吓住我了：这东西够费解的，样子像个脑子。等我问那个女孩儿，那是什么玩意儿，她答道“kuri”。问也白搭。我琢磨着，它多半是个章鱼蛋什么的。我哆里哆嗦，吃这东西，因为我希望尽可能深入日本生活嘛。（我还记得“kuri”这词儿，好像我的命就系在这东西上——30年之后，我都没忘这事儿。）

第二天，我问开会的一个日本家伙，那叫人费解的东西，是什么玩意儿。我告诉他，那东西难吃死了。“kuri”究竟是个什么玩意儿啊？

“那词儿的意思是‘栗子’。”他回答。

我学的那些日本话，有几句是很有用的。有一次，汽车等了好长时间也不开，几个家伙说：“嗨，费曼！你懂日语；让他们赶紧点儿！”

我说：“Hayaku！Hayaku！Ikimasho！Ikimasho！”——这意思是说，“走吧！走吧！快点儿！快点儿！”

我发现自己的日语失控了。我是从一本军事短语手册上学的这些短语的，那些说法想必是非常粗鲁的，因为旅馆里的人都开始急得像热锅上的蚂蚁，“是的，先生！是的，先生！”车也立刻就开了。

日本的这次会，分两个部分：一部分在东京，另一部分在京都。在到京都的车上，我把日本风格的旅馆的一些事儿，告诉了我朋友亚伯拉罕·派斯（Abraham Pais），他也想试试。我们住在“都城旅馆”里，里头美国风格和日本风格的房间都有，派斯和我共用一个日本风格的房间。

第二天早晨，料理我们房间的那个年轻女人，为我们准备了洗澡水，澡盆就在房间里。过了一阵子，她端着托盘回来送早饭。我衣服穿了一半。很客气地，她转朝我说“Ohayo, gozai masu”，这意思是“早晨好”。

派斯刚刚洗完澡，浑身滴答水儿，一丝不挂。她转朝他，同样安然自若，“Ohayo, gozai masu”。然后，把我们的餐盘儿放下。

派斯看着我说：“老天爷，我们文明吗！”我们意识到这么回事儿：在美国，如果一个女仆来送早饭，这个家伙站在那儿，赤身露体的，那就会有一声尖叫、一通做作。可在日本，大家都见怪不怪，习以为常。对于这些事儿，我们觉得，他们比我们更进步，更文明。

我那时正在捣鼓关于液氦的理论，我已经琢磨出了怎么用量子力学定律，来解释超流动性这种奇怪的现象。对这一成就，我觉得很自豪，想在京都会议上讲讲我的研究。

第二天晚上，在我讲话之前，有个晚宴，坐在我旁边的，不是别人，正是昂萨格[55]教授，液态物理学和液氦问题的一流专家。他是那种沉默寡言的人，可金口一开，便掷地有声。

“呃，费曼，”他说，嗓子粗哑，“我听说，你已经明白了液氦的事

儿。”

“那个，是……”

“哼。”整个晚宴，那就是他对我说的全部的话！不太怎么提情绪啊。

第二天，我发表了讲话，把液氦的一切都解释清楚了，到末了，我抱怨说，我还有点儿东西没有琢磨透：就是说，液氦从一态到另一态的转化，是属于第一序列（如在固体融化或者液体沸腾的时候——温度是恒定不变的），还是属于第二序列（如有时候你在磁力现象中看到的那样，温度是不断变化的）。

昂萨格教授站起来，语气严厉：“哈，费曼教授，在我们这个领域中，初出茅庐啊，我想，他需要接受点儿指教。有件事儿，他是应该知道的，而我们应该告诉他才是。”

我想：“我的个老天爷！我招谁惹谁了？”

昂萨格说：“我们应该告诉费曼，根据基本原理，没什么人已经正确地琢磨出任何液氦状态转化属于什么序列……因此，他的理论不允许他正确地搞出这个序列，这一事实，并不意味着他不曾令人满意地理解了液氦的许多其他方面。”到头来，他这是恭维我呢；但从他开讲的那个派头看，我还真以为他要修理我一顿呢！

不到一天的工夫，我在房间里，电话响了。是《时代》周刊打来的。打电话的那家伙说：“我们对您的工作很感兴趣。您能否寄给我们一份拷贝？”

我从来也没上《时代》，我非常兴奋。我很为我的工作自豪，我的讲话在会上的反响也很好，于是我说：“当然！”

“好的。请把它寄到我们在东京的办事处。”这家伙把地址给了我。我感觉棒极了。

我重复了一遍地址，那家伙说：“没错儿。谢谢您，派斯先生。”

“哦，不！”我说，大吃一惊，“我不是派斯；你找的是派斯啊？抱歉。等他回来，我会告诉他，你有话跟他说。”

几小时之后，派斯回来了。“嗨，派斯！派斯！”我说，声音激动。“《时代》杂志打电话来！他们希望你把你在会上的论文，寄给他们一份。”

“哎呀！”他说，“名声，是个婊子啊！”

我倍感震惊。

打那以后，我发现派斯说得对，但人在当时，我想，要是我的名字上了《时代》，那可真的美啊。

那是我第一次到日本。我归心似箭，说哪个大学要我，我都去。日本人安排了一系列地方，够好几天参观的。

等到这一次，我已经和玛丽·娄结婚了，不管我们到哪儿，他们都热情招待。有个地方，他们专门为我们安排了一整套仪式，还伴以舞蹈，这通常是为大旅游团体表演的。在另一个地方，我们在船上遇到了许多学生。还有一个地方，市长见了我们。

在一个特别的地方，我们待在树林里的一个小小的、不起眼的地方，天皇来的时候，就待这儿。那是个很可爱的地方，周围都是森林，就是漂亮；选在溪流淙淙的这个地方，也是费了心思的。这地方有某种静谧之感，一种宁静的优雅气氛。天皇到这么个地方来小住，我以为，

说明他比我们一般的西方人，对自然有着更细腻的感觉。

在每一个地方，研究物理的人，都告诉我他们在做什么，我就和他们讨论。他们告诉我他们正在研究的一般问题，然后写出一大堆方程式。

“稍等片刻，”我说，“这个一般的问题，有没有一个特别的例子？”

“怎么没有；当然有啊。”

“那好。给我一个例子。”我得看例子：除非我脑子里有一个具体的例子，看着它怎么走，我是理解不了任何一般的东西的。有些人，一开始还以为我迟钝呢，以为我不明白那个问题，因为我问了许多这种“傻瓜”问题：“阴极是正的还是负的？阴离子是这样的还是那样的？”

可是稍后，当这个家伙掉进方程式堆里的时候，他会说什么事儿，我就说：“稍等片刻！那儿，有个错误！那不可能对！”

这家伙看了看他的方程式，过了一阵子，他果然发现了那个错误，百思不得其解，“这家伙，一开始听不明白，可他怎么就能在这些乱七八糟的方程式中间看出个错误呢？”

他以为我是在推演数学步骤，但我干的不是这个。对于他正在努力分析的那个问题，我有一个具体可感的例子；我本能就知道，我亲身体验着那个东西的属性。因此，当方程式说它会这么这么行为的时候，我知道那错了，我跳起来说：“等等！那儿有个错误！”

因此，在日本，除非他们能给我一个可感的例子，他们大多数人找不到个例子，我就不能理解任何人的工作，不能跟他们讨论。有些人倒是能给我一个例子，但那个例子经常稀松，你用一个简单得多的方法，就能解决这个例子所表达的问题。

由于我总是不问数学方程式的问题，而是问他们试图解决的那个问题的物理环境，一份在科学家中间流通的油印小报的标题，“费曼的轰炸，与我们的反击”，对我的日本之行做了归纳。（小报不起眼，可那是他们在战后搞出来的一种有效的交流系统。）

在走访了好几座大学之后，我在京都的“汤川研究所”过了几个月。我很喜欢在那儿工作。一切都那么好。你来工作的时候，得把鞋脱掉，早上会有人过来给你上茶，那时你正想喝杯茶。这很是惬意。

在京都，我发了狠心想学日语。我用功得多了，学到可以打出租车转悠和做事儿的地步。一个日本人每天给我上一小时的课。

有一天，他教我“看”这个词儿。

“好了，”他说，“你想说，‘我可以看看您的花园吗？’怎么说？”

我造了一个句子，用了我刚学到的一个词儿。

“不成，不成！”他说，“如果你想对某人说，‘您想看看我的花园吗？’你就用第一个‘看’。但是，如果你想看别人的花园，你得用另一个‘看’，这一个更礼貌些。”

在第一个情况中，你实际上说的是这么个意思：“你愿意瞥一眼我这个邋遢的花园吗？”可是，当你想看另一个伙计的花园的时候，你一定得这么说：“我可否观赏您漂亮的花园？”这就是说，你必得用两个不同的词儿。

然后，他给了我另一个情况：“你到一个庙里去，你想看看那个花园……”

我造了一个句子，这次用的是那个礼貌的“看”。

“不成，不成！”他说，“庙里的花园优雅得多，因此你一定得说出相当于这么一种意思的一句话：‘我可否瞻仰你们至为美妙的花园？”

一个意思，要用三个或四个词儿来说，因为我做那事儿，那事儿就寒碜；你做那事儿，那事儿就高雅。

我学日语，主要是为了技术上的事儿，因此我决定试试在科学家们中间，有没有同样的问题。

第二天，在研究所里，我对办公室里的家伙们说：“‘我解狄拉克方程’这句话，用日语怎么说？”

他们说这样这样说。

“那好。现在我想说，‘你解狄拉克方程吗？’——你怎么说这个？”

“哈，你一定得用一个不同的词儿来说‘解’。”他们说。

“为什么？”我抗议，“我解这方程，你解这方程，做的不是同一件倒霉的事儿吗？”

“哈，是啊，可得用不同的词儿——那才更礼貌啊。”

我打了退堂鼓。我断定，我讲不来这种语言，不学日语了。

百分之七的答案

问题是要发现贝塔衰变的正确规律。看起来好像有两种粒子，名叫陶（τ）和西塔（θ）。这两种粒子，质量似乎完全相同，但是，其中的一种蜕变为两个介子，另一种却蜕变为三个介子。它们不仅是质量看来相同，寿命也相同，这真是一种怪异的巧合。因此，当时人人都关心这

事儿。

在我参加的一个会议上，有人报告说，在回旋加速器当中，这两种粒子在以不同的角度和不同的能量产生出来的时候，其数目也总是相同——有多少个陶，就有多少个西塔。

当然，有这么一种可能性：那是同一种粒子，有的时候衰变为两个介子，有的时候衰变为三个介子。但是，没人承认竟然有这种事儿，因为有一个定律，叫宇称律；这个定律基于这么一个假定之上：所有的物理定律都是镜像对称的，这就是说，一个东西，要是能变成两个介子，那它就不可能变成三个介子。

在那样一个特别的时候，我真的不怎么能跟得上事情发展的脚步：我总有那么点儿落后。人人都透着聪明劲儿，我呢，觉得自己跟不上趟儿了。无论如何，我跟一个名叫马丁·布洛克（Martin Block）的家伙，一个实验物理学家，住一个房间。有天晚上，他对我说：“你们这帮家伙，干吗那么拘泥于宇称律？或许陶和西塔是同一种粒子。要是宇称律错了，那会有什么结果？”

我沉思了片刻，说：“那将意味着，对左旋和右旋来说，自然规律是不同的，意味着有办法以物理现象为右旋下定义。我认为这事儿不那么可怕，尽管这必定会带来一些糟糕的结果，可我不知道。你干吗不在明天问问那些专家？”

他说：“不问，他们不会听我的。你来问吧。”

所以，第二天在会上，在我们讨论这个陶-西塔难题的时候，奥本海默说：“关于这个问题嘛，我们需要听到某种更野一点儿的新想法。”

那我就站起来说：“我代替马丁·布洛克问这么个问题：要是宇称律错了，那会有什么后果？”

默里·盖尔曼经常拿这个揶揄我，说我没胆子为自己问这个问题。但不是这么回事儿。我认为，那非常可能是一个重要的观念。

李政道[56]代表自己和杨振宁[57]，对这个问题的回答有点儿复杂，像以往一样，我听不大明白。会议结束的时候，布洛克问我，李政道说的什么，我说我不知道，但依我之见，这问题还没了结……仍然有一种可能性。我不是认为这事儿非常可能，可我认为它可能。

诺姆·拉姆齐（Norm Ramsey）问我，我是否认为他应该做一个实验，来寻找违背宇称律的现象，我回答："解释此事，莫非实验。你发现不了什么东西，我输你50块；你发现了，你输我1块。"

他说："那我得大便宜了。"可他从来没做这个实验。

无论如何，违背宇称律的现象，被吴健雄[58]发现了，用的是实验方法，她为贝塔衰变理论开创了大量全新的可能性。此事也立刻引发了大量的实验。有些实验表明，电子从核里出来，是飞向左边的，有的证明是飞向右边的；关于宇称律，还有各种各样的实验，各种各样有趣的发现。但是，得来的资料令人困惑，没人能把事情综合起来。

罗彻斯特（Rochester）[59]有个会——一年一度的罗彻斯特会议。我还是落后，人家李政道都在发表关于宇称不守恒的论文了。他和杨振宁得到了一个结论：宇称律是可以打破的，现在，他在为这种现象制造理论。

在会议期间，我待在锡拉丘兹（Syracuse）[60]我妹妹那儿。我把那篇论文带回家，对她说："我看不懂李政道和杨振宁说的这些东西。这也太复杂了。"

"不复杂，"她说，"你的意思，不是说你看不懂，而是说那东西不是你发明的。根据你听到的这个线索，按照你自己的思路，你却琢磨不

出个头绪来。你应该设想你现在又是学生了，把论文拿到楼上，一行一行地看，检查一下那些方程式。你会很容易就看懂。”

我听了她的建议，从头到尾检查了一遍，发现它既明显，又简单。我一直害怕读这个东西，还以为它很难呢。

这让我想起好早以前做过的一件事儿，是和左右不对称方程有关系的。现在看李政道的公式，事情变得清楚了，他的解法简单得多：一切东西都是左旋耦合的。对电子和μ介子来说，我的预言和李政道的相同，只是我的符号不同罢了。当时我没有意识到，李政道处理的仅仅是μ介子耦合的最简单的例子，并没有证明全部的μ介子都是右旋的；但按照我的理论，全部的μ介子必定都是自动右旋的。因此，实际上，我事先就预言到了他说的事情。我的符号是不同的，但我在当时没有看到我把全部的事情都搞对了。

我预言了几件事儿，可还没有人为此做实验；但是，说到中子和质子，我却没把事情搞得和当时已经知道的中子、质子的耦合协调起来，这事儿有点儿棘手。

第二天，我回去开会，一个叫肯·凯斯（Ken Case）的好心人，把他分得的宣读论文的时间，匀了五分钟给我提出我的观点。我说，我确信，一切都是左旋耦合的，而且中子和μ介子的符号用反了，但我正在极力解决中子的问题。后来，几个实验物理学家问了一些和我的预言有关的问题，然后我就在夏天到巴西去了。

等我回到了美国，我想知道贝塔衰变的研究情况怎么样了。我去了吴健雄教授在哥伦比亚大学的实验室，她不在；但另一位女士在那儿，把各种各样的数据都拿给我看，乱七八糟的数字全都不对劲儿。在贝塔衰变中的电子，依我的模型来看，应该都是左旋耦合的；可在有些情况下，却右旋了。一切都支离破碎了。

等我到加州理工学院的时候，我问一些实验物理学家，贝塔衰变情况如何。我记得三个家伙，汉斯·詹森（Hans Jensen）、阿尔德特·瓦帕斯特拉（Aaldert Wapstra）和费利克斯·勃姆（Felix Boehm）。他们坐在一个小凳子上，开始告诉下面这些事实：这个国家别的地方的实验结果，他们自己的实验结果。因为我认识这几个家伙，知道他们是多么仔细，我对他们的结果比对别人的结果，注意得更多。单看他们的结果，还不是那么不协调；但加上别人的结果，就都乱了。

最后他们把这些东西都一股脑地倒给了我，说："情况如此混乱，连大家建立多年的一些东西都成了问题——比方说，中子的贝塔衰变是S和T。这个乱劲儿啊！默里·盖尔曼说那可能是V和A。"

我从凳子上跳起来了说："这我就全明白了！"

他们还以为我在开玩笑呢。但是，我在开罗彻斯特会的时候的麻烦，是中子和质子的衰变：事事妥帖，但有一件事儿掣肘；如果事情是V和A，而不是S和T，那么那个掣肘的事儿也妥帖了。因此，我有了一个完整的理论！

那天晚上，我用这个理论，各种各样的事情都计算出来了。我计算的第一个事情，是μ介子和中子的衰变率。两个衰变率应该是互相联系着的，如果我的这个理论是正确的，根据某种关系，那么这个理论只差9%就对了。这很接近了，9%啊。这个理论本该更完美的，但也非常接近完美了。

我继续检查了另外一些事情，符合，连带着新的和更新的东西都符合了，我喜出望外。这是第一次，也是唯一的一次，在我的职业生涯中，我知道了一个自然规律，别人却不知道。[当然，这说法不真实；我后来发现，起码默里·盖尔曼—还有苏达山（Sudarshan）和马沙克（Marshak）—都搞出了相同的理论，但我没觉得他们败兴。]

以前我做过的另一些事儿，是把人家的理论拿过来，改善其计算方法，或拿来一个方程式，如薛定谔[61]方程式，来解释一个现象，如氦的现象。我们都知道这个方程式，我们也知道这个现象，但怎么拿方程式来解释现象呢？

我想到了狄拉克[62]，他拥有他的方程式有一阵子了——那是个新方程式，告诉我们电子怎么行为——现在我也有一个关于贝塔衰变的方程式，没有狄拉克的方程式那么重大，但也不错啊。我发现了一条新的规律，这是头一遭啊。

我给在纽约的妹妹打电话，感谢她在罗彻斯特会议期间，让我坐下来研究李政道和杨振宁的论文。曾经觉得不自在，觉得落后，可现在我登堂入室了；我得到了一项发现，仅仅是听了她的建议而得到的一项发现。我又能投身于物理当中了；可以这么说吧，我想为此谢谢她。我告诉她，事事都妥帖了，只差9%。

我太兴奋了，算个不停，妥帖的事儿层出不穷：它们是自动妥帖的，丝毫也不勉强。人在当时，我开始忘记了那9%，因为其他的一切都顺顺利利。

我在夜里干得很卖力，坐在厨房靠窗的小桌子边。工作得越来越晚——下半夜两三点的样子。我努力工作着，把那些计算结果和那些妥帖的事情弄得天衣无缝，我沉思，气定神凝，外面漆黑而宁静……突然，啪、啪、啪、啪——好响，有人敲窗。我一抬眼，一张白脸，就在窗上，近在咫尺，连惊带吓，我尖叫起来！

那是我认识的一个女士，跟我生气呢，因为我假期回来，没立刻给她打电话告诉她我回来了。我让她进来，想跟她解释，眼前我正忙着呢，我刚刚发现了个事儿，这事儿蛮重要的。我说：“请出去，让我弄完。”

“不，我不想烦你。我就坐在客厅里。”

我说：“呃，那好，但坐那儿也没劲啊。”

严格来说，她并没坐在客厅里。最好的说法，是她似乎是蹲在一个角落里，把两只手攥到一起，不想来“烦”我。当然，她的目的，是非要把我烦死不可！她达到了目的——我不能不理她。我火来了，我受不了这个。我不得不做这个计算；我在进行一项伟大的发现，我欣喜若狂，不知怎么的，对我来说，这个发现比这个女的更重要——起码在那个时刻，就是这样。我记不得我最后是怎么把她弄走的，反正挺难。

又干了一阵子，时辰更晚，我也饿了。我走到大街上，往五个或十个街区之外的那个小饭店那儿走。我以前也经常这样，深夜出行。

以前有几次，经常有个警察挡住我，因为我一边走，一边思考，然后，停住不走了——有的时候，冒出了个想法，要想继续走路，太难了；你必得把什么事儿搞确实了啊。于是，我就不走了，有的时候，我还把双手举在空中，自言自语：“这些东西之间的距离，是那个样子，那么这个就会是这个样子……”

我两手乱比画，站在大街上，警察过来了：“你叫什么名字？你住哪儿？你在干什么啊？”

“啊！我在思考嘛。抱歉，我就住这儿，经常到那个饭店去……”过了些时候，他们都知道那是谁，再也不挡我的路了。

我到了饭店，吃着饭还兴奋呢，我告诉一个女士，说我刚刚弄出个发现。她开口了：她是一个消防队员或者护林员什么的老婆。她很寂寞——都是我不感兴趣的事儿。所以呢，那种事儿，有啊。

第二天早晨，我去上班，去找瓦帕斯特拉、勃姆和詹森：“我已经

把一切都搞出来了。事事都妥帖了。”

克里斯蒂（Christy）也在那儿，说：“你用的是什么衰变常数？”

“就是那谁谁的书上的那个。”

“可那个已经被发现是错误的，最近的测量表明它有7%的误差。”

我这才记起了那个9%。这对我来说，像个预言：我跑回家，搞出了这么个理论，说中子衰变将有9%的误差，第二天早晨他们告诉我，实际上，那个数有7%的变化。但是，是从9%变为16%（这可不好），还是从9%变为2%（这个很好）？

正在那时，我妹妹从纽约打来电话：“那9%怎么样了？——是怎么回事儿啊？”

“我刚发现，有一个新的数据：7%……”

“往哪边变啊？”

“我正在把这事儿捣鼓出来呢。回头给你打电话。”

我太兴奋了，兴奋得没法思考。这好像你赶飞机，你不知道你是不是晚了，你就是搞不清楚了，这时，有人告诉你：“现在是夏时制嘛！”没错儿，可提前还是延后？往哪边？人一激动，这事，想不清楚的。

于是，克里斯蒂进了一个房间，我进了另一个房间，各人都静悄悄的，这样我们才能把问题想透彻：这个是这么动的，那个是那么动的——这不算很难，真的；就是激动。

克里斯蒂出来了，我也出来了，我们都同意：是2%，稳稳当当地

在实验许可误差之内。那个常数毕竟已经改变了7%，那2%倒真可能是误差。我给我妹妹打电话：“2%。”这个理论是正确的。

[实际上，那不对：真的说来，那是1%，什么原因，当时我们还不知道，只是后来尼古拉·卡毕博（Nicola Cabibbo）才理解了这事儿。因此，那个2%，完全不是实验误差。]

默里·盖尔曼把我们的观念比较并综合了一番，写了一篇关于这个理论的论文。这个理论相当严整；它比较简单，它把许多事情都弄妥帖了。但我以前告诉过你，有好多乱七八糟的数据。在有些时候，我们竟然能走得这么远，能说出哪些实验是错误的。

这方面的一个好例子，是瓦伦丁·特勒第（Valentine Telegdi）做的一个实验。在这个实验中，他测量了当一个中子衰变的时候，向各个方向飞出的电子数。我们的理论预言，各个方向上的电子数应该是一样的，但特勒第发现一个方向上的电子数要比另一个方向上的多11%。特勒第是一个优秀的实验家，做事很仔细。有一次，他在什么地方讲话，提到了我们的理论，说：“理论家的麻烦，是他们从来也不留心实验！”

特勒第还给我们寄了封信，话说得并不严厉，但无论如何还是在表明，他确信我们的理论是错误的。在信末，他写道：“关于贝塔衰变的‘费盖（费曼、盖尔曼）理论’，得‘费劲掩盖’点儿什么。”

盖尔曼说：“我们拿这事儿怎么办？你知道，特勒第善于做实验。”

我说：“我们权且等待。”

两天之后，从特勒第那儿又来了一封信。他心服口服了。根据我们的理论，他发现：从中子弹出来的质子，在所有的方向上是不同的，这样一种可能性，他忽视了。他想当然地认为那是相同的。用我们的理论所预言的数据，来修正他一直在用着的数据，实验结果就没有掣肘的地

方了，理论和实验完全一致。

我知道特勒第非常出色，跟他顶牛儿，不大容易。但在当时，我已经确信他的实验必定什么地方出了差错，而且他也会发现——他自己找漏子，要比我们去找，好得多。我说我们不应该去琢磨那件事儿，而是权且等待，原因就是如此。

我去了巴舍尔教授那儿，把我们的成功告诉了他，他说："是啊，你们挺身而出，说中子-质子耦合是V而非T。大家在以往都以为那是T。说它是T的那个基本实验在哪儿？你为什么不看看以前的实验结果，找找那些实验出了什么毛病。"

我离开他，去找到了关于那个实验的原始文章，文章说中子-质子耦合是T，有什么东西让我大吃一惊。我记得我以前曾经读过这篇文章（以前，《物理评论》上的文章，我篇篇必读——那时它还不厚）。我记得，当我再看到这篇文章的时候，看着那条曲线，心里想："那什么也证明不了啊！"

你看，它依靠的是整个数据范围靠边上的一两个点，有一个原则：在数据范围靠边上的一点——最后一个点——是不够好的，因为，如果它足够好的话，那就还有一个更靠外的点。我本来就意识到，中子-质子耦合是T这整个观念，就是基于那最后一个点的，那个不很好的点，因此它证明不了什么。我记得我注意到了这个！

等我对贝塔衰变感兴趣的时候，我就直接阅读那些"贝塔衰变专家"的报告，都说那是T。我从来没看过原始数据；我只读那些报告，跟个傻瓜似的。假定我是个好物理学家，那么以前在罗彻斯特会议上，我想到原来那个观念的时候，本来立刻就会检查"我们知道那是T，果真可靠吗？"——那才是明智之举。我本来会马上意识到我早就注意到那并没有令人信服地证明任何东西。

打那以后，对“专家们”的任何东西，我再也不费心思了。什么东西，都是我自己计算。当人们说夸克理论相当不错的时候，我让两个博士，费恩·拉芬达尔（Finn Ravndal）和马克·基斯令格（Mark Kislinger）与我一道，把这个理论从头到尾搞了一遍。只有这么个搞法，我才能检查出这个东西还确实能得出相当妥帖的结果，而且它是一个值得重视的好理论。我再也不会犯那个错误了，只读专家意见的那个错误。当然，你只有一次生命，你把什么错误都犯过了，这才知道不该做什么，而你这一辈子也完了。

十三次

有一次，在一个地方市立大学里教科学的一个老师，过来问我，愿不愿意到那儿讲个话。他给我50块钱，但我告诉他，我不在乎钱。“那是个市立大学，是吗？”

“是。”

我想到的是，当我跟政府打交道的时候，我通常不得不缠在一大堆例行公文当中，于是我笑道：“我很高兴去讲话。整个事情，只有一个条件。”——我卖了个关子，继续说——“我签名，决不超过十三次，还得包括签支票那次！”

那家伙也笑了。“十三次！没问题。”

签字的事儿，这就开始了。首先，我必须签一个东西，说我忠于政府，否则我就不能在市立大学里讲话。我还必须签两次，是吧？然后呢，我必须签某种把什么权力出让给市政府的文件——我记不得是个什么玩意儿。很快，签字次数就一路攀升。

我必得签一个东西，说我是个货真价实的教授——这是当然的，因为那是市政府的事儿啊，那就得保证经办者别偷偷让自己的老婆和朋友来上课，或者甚至根本不请人上课。有各种各样的事儿，都要保证，签字次数一直在上升。

这下好了，那个开始还笑的家伙，好紧张啊，但我们刚好把事情办完。一次不差，我签了十二次。还有一次，好签支票，于是我们就出发，去讲话。

几天之后，那家伙过来送支票，他真是满头大汗啊。他说，我确实讲过这个话，但除非我签一个表格，他就没办法给我钱。

我说："如果签这个表，我就签不成支票。但是你在场；你听到了那个讲话；为什么你不签？"

"我说，"他说，"你搞的这一套，是不是有点儿傻啊？"

"不傻。在开头，我们就弄了这么个协议。我们真没想到会需要十三次签字，但是我们彼此都同意了，我认为我们应该坚持到底。"

他说："我是尽力了，到处打电话。什么我都试过，他们说，那是不可能的。除非你签这个表格，否则你就是拿不到钱。"

"不拿就不拿，"我说，"我已经签了十二次，我也讲了话。那钱，我不要了。"

"但我太过意不去了。"

"没事儿。我们说定了；别担心。"

第二天，他打来电话。"这钱，他们不能不给你！他们已经把这钱拨出来了，已经从账里出来了，因此他们必得把这钱给你啊。"

“那好，如果他们必得给我这笔钱，让他们给我好了。”

“但你必须签这个表。”

“我不签这个表！”

他们都给卡住了。这人该得这钱，可他不想为它签字，这钱没地方搁了。

最后，事情弄妥了。费了好长时间，事情很复杂——但我用第十三次签名，兑了我的支票。

“鸡母牛，鸡母牛！”

我不知道是怎么回事儿，反正我去旅行的时候，总是粗心大意。地址啊，电话号码啊，邀请我的那些人的情况啊，我都不留心。我琢磨着，会有人来接我，或者别的一个人知道我们要到哪儿去，但不知怎么，我能把事情弄妥。

有一次，那是在1957年，我去参加在北卡罗莱纳大学举行的一个引力会议。有人把我看成不同领域中的一个也关心引力问题的专家。

那天，我在机场降落的时候，已经赶不上会了（第一天我没参加），我出了机场打出租车，对车辆调度员说：“我想到北卡罗莱纳大学。”

“你要到哪个北卡罗莱纳大学，”他说，“是在罗利（Raleigh）[63]的北卡罗莱纳州立大学，还是在教堂山（Chapel Hill）[64]的北卡罗莱纳大学？”

不需要说，我一点也不清楚了。“他们在哪儿呢？”我问，以为这两个大学一定相距不远。

“一个在北边儿，另一个在南边儿，距离大约一样。”

我身上没带什么东西能告诉我会场在哪儿，天色都那么晚了，也没别的人往会场那边去了。

我灵机一动。“听我说，”我对车辆调度员说，“会是昨天开始的，因此有一大群家伙都往会场那边去，他们昨天一定是从这儿走的。让我告诉你，他们是个什么德性：他们都是一副懵懵懂懂的样子，互相谈着什么，不大在意到哪儿去，互相说的话，好像是这么个声音：‘鸡母牛，鸡母牛（G-mu-nu）[65]’。”

他眼睛一亮。“啊，是的，”他说，“这么说，你是要到教堂山了！”他对下一辆正在排队的出租车说：“把这位先生送到教堂山的大学。”

“谢谢。”我说，然后我就奔会场了。

但那是艺术吗？

有一次，我在一个聚会上打邦戈鼓，打得蛮热闹。有个家伙，特受鼓声的感染。他进了洗澡间，把衬衫脱了，用剃须膏在胸膛上画了个可笑的图案，出来发疯地跳，耳朵上还挂着樱桃。很自然，这个发疯的傻瓜和我立刻成了好朋友。他的名字是杰瑞·左提安（Jerry Zorthian），他是个艺术家。

关于艺术和科学，我们进行了长时间的讨论。我说的是类似这么一种意思：“艺术家，找不着北：他们没什么主题！他们习惯于宗教主

题，但他们丢失了自己的宗教，现在他们什么也没了。他们不懂这个他们身在其中的技术世界；对于那个真实世界的美，那个科学世界的美，他们一无所知。因此，他们心里没什么东西好画的。”

杰瑞会这么回答：艺术家不需要物理的主题；可以用艺术来表达的情感，多了去了。此外，艺术可以是抽象的。不仅如此，科学家把自然打碎了，把它变成了数学方程式，破坏了自然美。

有一次，我到他那儿给他过生日，那一次的这类愚蠢争论，一直延续到下半夜三点。第二天早晨，我打电话把他叫醒了：“听着，杰瑞，”我说，“我们这么吵，也吵不出个所以然，原因是，关于科学，你啥也不知道，我呢，关于艺术，也啥也不知道。因此，每个星期天，我们轮换着，我给你上科学课，你给我上艺术课。”

“那好，”他说，“我教你怎么画画。”

“那不可能。”我说，因为，我在上高中的时候，我只会画沙漠上的金字塔——主要是直线构成的嘛——我时不时地想试着画棕榈树，加上个太阳。我绝对无才。跟我坐一块儿的那家伙，跟我一样有才华。要是让他想画什么就画什么，他画的那东西，是两个脏乎乎、扁歪歪的椭圆形，像两个摞在一块儿的轮胎，轮胎里头伸出根杆子，杆子头儿变成了个绿色的三角形。我们得假定那是棵树。因此，我跟杰瑞打赌，他教不会我画画。

“当然了，你得用功啊。”他说。

我保证用功，但还是打赌他教不会我画画。我非常想学会画画，原因只有我自己知道：我想传达一种感情，我对这个世界的美的感情。那很难说得清楚，因为那是感情。那种感情，跟宗教感情差不多，这个宗教和一个控制着整个宇宙的神有关系。事物显得这么不同，行为也这么

不同，可在“布景背后”，它们都受着同一种组织、同样的物理规律的支配，思想此事，你会感觉出有一种普遍性。这是对自然的数学之美的赏识，是对这种美的工作方式的欣赏，是对我们从原子之间内在作用的复杂性当中看出来的意识；是一种关于这种美有多么戏剧化、有多么奇妙的感觉。那是一种敬畏之感——科学的敬畏——我觉得可以通过绘画，把这感觉传达给别人，别人也有这种感情的。我的画可以提醒他，让他暂时记起宇宙的壮丽。

原来，杰瑞是个好老师。他首先告诉我说，回家，想画什么就画什么。于是我就想画一只鞋；然后画盆花。画得乱七八糟！

我们下次见面的时候，我给他看了我的习作：“哦，你看！”他说。“你看，这靠后的这个地方，花瓣的这个线条，没碰着叶子。”（我本意是要它碰着叶子的。）“这很好哇。这是一种表现深度的办法啊。你很聪明。”

“你没把全部的线条都搞得一般粗（我不是故意那么做的啊），是很好的。全部线条都一般粗，那种画，发呆。”他又继续说了类似的一些话：我什么都想错了啊，他习惯于以积极的方式来教我点儿东西。因此，我坚持努力，渐渐有点儿起色，但我怎么也不满意。

为了练习得更多，我还报名参加了一个函授学校的班，“国际函授学校”的班，我不得不说这个学校好。他们让我开始画三棱锥和圆柱体，还加上阴影什么的。我们涉猎了许多领域：素描，蜡笔，水粉还有油画。学期快结束的时候，我却渐渐疲塌了：我给他们画了一幅油画，但总也没寄出去。他们不停地给我来信，敦促我不要半途而废。他们非常好。

我一直都在练习画画，对它越来越感兴趣。如果我在开会，会却开得不顺利的时候——像那次卡尔·罗杰斯（Carl Rogers）到加州理工学院

来，跟我们讨论，加州理工学院该不该搞一个心理学系——我就画别人。我带着一打子小开本的纸，走到哪儿都练习画画。因此，杰瑞教我的时候，我很用功的。

另一方面，杰瑞的物理学学得并不多。他心猿意马。我想教他电学和磁学的什么东西，但我一提起“电”，他就告诉我，他那个转不起来的电动机的什么事儿，他怎么或许能把它修好。我想让他看看电磁铁是怎么工作的，我就卷了个小线圈，把一根钉子系在一根线上，我给它通上电，钉子呢，摇摇晃晃地就进了线圈里，杰瑞说：“噢噢！就跟性交似的！”只好作罢了。

因此，现在我们又发生了新的争论——究竟他是个比我好的老师，还是我是个比他好的学生。

想让一个艺术家来赏识我对自然的那种感情，还想让他能描绘这种感情，这个念头，我打消了。现在我就得加倍努力，学习画画，那样我就能自己来办了。这是个野心勃勃的事业；这个想法，我谁也没告诉，因为我多半是永远也做不到。

在我开始学画画的时候，一个我认识的女士，看了我的习作，说：“你应该上帕萨迪纳艺术博物馆那儿。他们那儿有绘画班，有模特呢——裸体模特。”

“不去，”我说，“我画得不够好，我会很尴尬。”

“你很可以了啊；你应该看看别人画得什么样！”

于是，我鼓足了勇气到那儿去了。第一节课上，他们说，要准备好印报纸的那种纸——大幅的纸，跟报纸那么大的——还有各种各样的铅笔和炭笔。第二节课，一个模特进来了，她开始摆了十分钟的姿势。

我开始画这个模特，到我才画了一条腿的时候，十分钟用完了。我往四周看了看，人人都已经画好了一幅完整的画，背后还加了阴影呢——整个完工了。

我明白自己是半瓶子醋。可是，到最后，那个模特要摆三十分钟姿势。我画得很卖力气，费了吃奶的力，倒也能画完她整个的轮廓。这次，我有了一半儿的希望。因此，这次我也不把我的画盖住了，因为我已经画完了前一次该画的那些。

我们转来转去，看看别人画得如何，我发现了他们的真本事：他们画的那个模特，惟妙惟肖，明暗有度，连坐着的那个椅子上的那个小挎包也画上了，台子也画上了，什么都画到了！他们手执炭笔，嚓、嚓、嚓、嚓，一气呵成啊，我琢磨着，我是没指望了——彻底没指望了。

我回去把我的画盖上了，它只画了几根线，挤在报纸的左上角那儿——那之前，我只在书本大小的纸上画——但班上的人，都在近旁站着呢：“噢，看看这个，”他们当中有个人说，“笔笔不虚啊！”

我不确切知道这话是什么意思，但我得到的鼓励，足够让我下次课还来。与此同时，杰瑞不停地告诉我，画得太满，没任何好处。他告诉我不必在意别人，因此他告诉我，他们也不怎么样。

我注意到，那个老师没对大家说得太多（他只告诉我，说我的画在那页上太小了）。他却努力鼓励我们实验新方法。我想起了我们是怎么教物理的：我们有那么多技巧——那么多数学方法——我们从来没停止告诉学生怎么做事情。另一方面，这位画画的老师，怵于告诉你任何事儿。如果你的线条笔力太重，这个老师不会说：“你的线太重了啊。”因为有些艺术家琢磨出了一种办法，能用很重的线条搞出了不起的画来。老师不想把你推到某种特别的方向上去。因此，怎么通过潜移默化的方式，而不是下达指令的方式来和学生交流，绘画老师就有这种麻烦了。

物理老师的麻烦，是总教怎么解决物理问题的技巧，却不教精神。

他们总告诉我要“放松”，要无拘无束地画。我琢磨着，这并不比告诉一个掐着方向盘学开车的人“放松”，更起作用。那么说，是没有用的。只有在你知道怎么仔细地弄它的时候，你才开始放松。所以，我抵制这种没完没了的叫人放松的玩意儿。

他们发明的一个叫我们放松的练习，是画的时候，不看纸。你的眼一直盯着模特；在纸上画线条的时候，只看着她，不看你画的那些东西。

有个家伙说：“我就是忍不住要看。我没办法不自欺欺人。我敢打赌，大家都在自欺欺人！”

“我不自欺欺人！”我说。

“哇噢，装蒜！”他们说。

我把练习做完了，他们过来看我画的是什么东西。他们发现，确实，我没自欺欺人；一开始的时候，我的铅笔尖儿就断了，纸上除了压痕儿，空空如也。

等我把铅笔弄得好用了，我又来试。我发现，我的画有某种力度——一种可笑的、毕加索式的力度——这让我自己很得意。我觉得这画好，原因是，我知道那样画，是不可能画好的，因此呢，你不必画好——那才是这种放松练习的目的所在。我本以为“放松”的意思是“信笔涂鸦”，但实际上是别担心画出来的画是个什么样子。

我在这个班里，进步不小，我感觉颇为不错。到最后一个学期，我们的模特都是身量庞大得走了形的那种，画这种模特很好玩儿。可是，最后一堂课，我们的那个模特却是个体态匀称、金发碧眼的妞儿，比例

非常完美。到那个时候，我才发现，我仍然不知道怎么画画：我能画出来的东西，怎么看也不像这个漂亮的女孩儿！画别的模特，你画什么东西，如果画得大点儿或者小点儿，无所谓，因为反正是个走形儿。但是，如果你画的这个东西装配得这么好，你就不能自欺欺人了，一定得画好才是！

有一次在下课的时候，我无意听到那个真会画画的家伙问这个模特，她能不能单独为他摆姿势。她说，可以。“那好。但是，我还没有画室呢。我必得先把这个问题解决了。”

我琢磨着，我可能从这个家伙那儿学到不少东西；除非我想点儿办法，我就没机会再画这个体态匀称的模特了。“对不起，”我对他说，“我房子楼上有个房间，可以用做画室。”

他们俩都同意。我把这家伙的几幅画拿给杰瑞看，但他吓呆了。“这些东西，不是那么好啊。”他说。他努力解释为什么，但我实在是听不懂。

在开始学画之前，我从来没有太大的兴趣去看看艺术。对艺术的东西，我不怎么欣赏；要说欣赏，也不经常，比方说，那次我在日本的一个博物馆里的时候。我看到一幅在泛黄的纸上画的竹子。在我看来，这画的妙处，在于它不过是寥寥几笔，但它同时又是竹子，这二者之间有一种完美的平衡——我可以随心所欲地一会儿把它看作笔触，一会儿把它看作竹子。

绘画班之后的那个夏天，我在意大利参加一个科学会议，我想看看西斯廷教堂。早晨我早早就去了，比任何人都先买了票，然后一开门，我就跑上台阶。因此我享受了一段不寻常的时光，在别人来之前，在宁静的敬畏中，看着这整个教堂。

游客们很快就来了，一群一群的人到处乱转，说着不同的语言，指指点点的。我到处走，看了一阵子天顶。然后，我的视线稍微向下移动了一点儿，我看到了一些巨幅的、装了框子的画，我想，“嚯！我以前不知道这个！”

不幸的是，我把导游手册忘在旅馆里了，但我心里想：“我知道为什么这些画不出名了；这些画不怎么好啊。”但是，我接着看另外一幅，我说：“哇噢！那幅好啊。”我看了另外那些。“那个也好，那个也是一样，但那个稀松。”我从来没听说过这些画，但我拿得准，这些画都好，只有两幅是例外。

我到了一个叫“拉菲尔”的地方——拉菲尔展室——我注意到了相同的现象。我心里想，“这拉菲尔，参差不齐啊。他画得不总是好。有的时候，他很好。有的时候，就是垃圾嘛。”

等我回到了旅馆，我那本导游手册，关于西斯廷那部分，说：“在米开朗基罗的那些画下面，有十四幅是波提切利（Botticelli）和佩鲁吉诺（Perugino）的”——这都是大艺术家——“还有两幅是什么什么人的，没什么重要性。”这对我来说，可是太兴奋了，我也认得出来一个美的艺术品和一个不美的艺术品之间的区别啊，虽然那究竟是怎么个区别，我也说不准。作为一个科学家，你总是认为你明白自己做的事儿；可是，艺术家，说“那个很伟大”，“那个不怎么样”，过后却说不出个所以然来，就像杰瑞对我带给他看的那些画所发表的评论那样，你就信不过他们了。但现在我也是这样：我也能这么干！

拉菲尔展厅，有个秘密，原来是这样：只有一部分绘画，才是大师手笔；其余的，是学生弄的。我喜欢拉菲尔的那些。这让我对自己的艺术欣赏力自信大增。

不管怎么说，艺术班的那个家伙和那个体态匀称的模特，来过我家

好几次，我想画她，我想学他。做了许多习作之后，我终于画了一幅我觉得实在好的画——她的头像——第一次成功，我很兴奋。

我有了足够的自信，问我的一个叫史蒂夫·德米垂阿德（Steve Demitriades）的老朋友，可否请他漂亮的妻子为我摆姿势；作为回报，我把肖像送给他。他笑了。“如果她愿意浪费时间为你摆姿势，我不介意，哈、哈、哈。”

我为她的这幅肖像工作得很卖力，等他看到了，他完全站到了我的立场上：“画得可真漂亮啊！”他叫起来。“你能不能把它用照相机照下来，多复制几份？我想寄一份给我在希腊的妈妈！”他妈妈从来也没见过儿媳妇。想到我已经进步到有人要我的画的地步，这事儿来劲啊。

相似的一件事儿，发生在加州理工学院一个家伙搞的一次小型艺术展览会上，我贡献了两幅素描和一幅油画。他说：“我们应该在画上贴个价格标签。”

我想：“别犯傻了！我不打算卖啊。”

“那会使这个展览更有意思一点儿嘛。如果你不是舍不得的话，那就弄个标签上去。”

展览之后，那个家伙告诉我，一个女孩儿已经买了我的一幅素描，还说想跟我说说话，以便发现这画的更深的寓意。

那画名为“太阳磁场”。为了这幅特别的画，我借了一幅在科罗拉多的太阳实验室拍的漂亮的日冕照片。因为我明白太阳磁场是怎么把火焰拽起来的，而且在当时，我琢磨出了一种技法，来画磁力线（跟女孩儿飘动的长发相似），我想画画家们都没想到要画的某种漂亮的东西：磁场中的那种相当复杂和翘曲的线，在此处聚拢，却在彼处散开。

我把这些都解释给她听，还给她看了使我有了这个主意的那幅照片。

她告诉了我这么个故事：她和她丈夫去看过展览，他们都非常喜欢这幅素描。“我们干吗不买下来？”她建议。

她丈夫，是那种从来也不会当机立断的人。“让咱考虑考虑再说吧。”他说。

她想起来，再过几个月，就是他的生日，于是她当天返回，自己买了。

那天晚上，他下班回家，心情抑郁不振。她终于弄明白了他是怎么回事儿：他觉得，把那幅画买来给她，那才好；但是，等他回到展览会，有人告诉他，那画已经卖出去了。因此，她就把这事儿秘而不宣，等他过生日的时候，好给他个惊喜。

我从这个故事中得到了启示，这启示对我还是很新鲜的：起码从某些方面说，我终于理解了艺术确实有什么用处。艺术给某个单个的人以快乐。你能制造出一个东西，有人宝贝之至；他们或者沮丧，或者愉快，都是因为你制造的这破玩意儿！在科学中，那是一种普遍而大的东西：你不知道直接欣赏它的那些单个的人。

这个使我明白了这么一件事儿：卖画，并非为钱，而是为了踏踏实实地知道，那画实在想要属于一个人；那个人，要是得不到它，就茶饭不香。这事儿透着好玩。

因此，我决定卖画。然而，我却不希望大家来买我的画，是因为他们想当然地以为我这个物理学教授没画画的本事，这可够你咂摸味儿的，所以我就起了个假名字。我的朋友建议我叫“奥菲”（Au Fait），在法语里是“办妥”之意，我却把这个名字写成“阿飞”（Ofey），这刚好就

是黑人送给“白鬼”（whitey）的那个称呼。但我毕竟是个白鬼，所以正合适。

我的一个模特，想让我给她画幅画，但她没那份钱。（模特没钱；如果她们有钱，就不干模特这行了。）如果我给她一幅画，她就愿意免费为我摆三次姿势。

“事儿得倒过来，”我说，“如果你白为我摆一次姿势，我会给你三幅画。”

她把我给她的画中的一幅，挂在她的小房间的墙上，很快，她的男朋友注意到了。他太喜欢这画了，他想出钱为她画一幅肖像。他要付我60块钱。（我现在涨了行市了。）

她有个念头，想当我的经纪人：她到处兜售我的画，能赚点儿小小的外快，她会说：“在阿尔塔迪纳，新出了一位艺术家……”身处另一个世界中，这堪为乐事啊！她做了一番筹划，把我的一些画摆到了“小公牛”，这是阿尔塔迪纳最雅致的一家百货商店。她和艺术部的那位女士来挑了我的几幅画——是几幅我早先画的植物（我不喜欢）——全都装了画框。然后呢，我得到了“小公牛”的一份签了字的文件，说他们接受委托，取走什么什么画。当然，没有卖掉任何一幅，但我是大大成功了：我的画在“小公牛”那儿卖啊！把画放在那儿，也是乐事啊。这样，有朝一日我就可以说，在艺术世界里，我曾经达到那样一种成功的巅峰。

我大多数的模特，是通过杰瑞搞到的，但我也想自己找一些模特。每当我遇到个年轻女人，看样子好像对画画感兴趣，我就让她为我摆姿势。最后的结果，总是我画她的脸，因为我不怎么知道如何处理裸体这个主题。

有一次我在杰瑞那儿，我对他妻子达布妮（Dabney）说：“我没办法让女孩儿们光着身子摆姿势，我不知道杰瑞是怎么弄的！”

“哈，你从来也没有要求她们那么做？”

“哦！我连想都没那么想。”

我遇到的下一个女孩儿，想要她为我摆姿势，是加州理工学院的一个学生。我问她愿不愿意为我裸体摆姿势。“当然。”她说，事儿就这么成了！因此，这事儿容易。我猜，我心里杂念太多，以为那么要求人家，不知道怎么就不对。

到现在，我已经画了很多画，我已经到了这么一种造诣，最喜欢画裸体。据我所知，严格来说，那不是艺术；那是一种混合物。谁知道这混合物中的各种物质的百分比是多少？

我通过杰瑞认识的一个模特，曾经是《花花公子》杂志的花花女郎。她身材颀长，美艳无比。然而，她觉得自己太高了。这个世界上的每个女孩儿，瞧她一眼，都嫉妒得要死。在她进一个房间的时候，上半身得弯着进去。在她摆姿势的时候，我想教教她，请她站起身来，因为她是如此优雅，如此耀眼。我终于说动她照着我说的做了。

她接着就有了另一种担忧：她的腹股沟那儿有些“凹坑儿”。我不得不找出一本解剖学书，给她看那是肌肉与肠骨的接合部，还为她解释，你不是在每个人身上都能看到那些“凹坑儿”的；要想看到，那必须一切都刚好合适，完完全全地合乎比例，就像她那样。我从她那儿了解到，每个女人，无论她们多么漂亮，都担心自己的长相。

我想用彩色为这个模特画一幅画，用粉蜡笔，仅仅是为了做实验。我觉得应该先用炭笔勾勒轮廓，再用粉蜡笔覆盖。在我用炭笔勾完了之后，我不操心这画以后会是个什么样子了，我意识到这就是我画过的最

好的画之一。我决定，这样就行了，别在这幅画上用粉蜡笔了。我的"经纪人"看到这画，想把它带走。"这幅画，你卖不出去，"我说，"它画在报纸纸上啊。"

"哦，别担心，"她说。

几个星期后，她回来了，带着这幅画，用漂亮的木头画框给装了起来，红色的镶边，金色的边框。这事儿够滑稽的，一定会让一般的艺术家们闷闷不乐——你给一幅画装了框子，这对它的改善也太大了。我的经纪人告诉我，某位女士，对这画整个着了迷，我的经纪人就把这画送到画框师那儿了。他告诉她，有一种特别的技术，来装画在报纸上的画：用塑胶使之饱和，这么捣鼓，那么捣鼓。因此，这个女士必得遭受我画的这画带来的这些麻烦，然后呢，她还要让我的经纪人把画带给我看。"我想，这位艺术家或许想看看，它装了画框的时候，有多么可爱。"她说。

我肯定想看。有人从我的一幅画中得到了这种直接的快乐，这又是一个例子。因此，卖画，还真是件乐事儿。

有那么一段时间，城市里有脱衣舞饭店：你可以到那儿吃午饭或晚饭，女孩儿们光着上半身跳舞，跳着跳着，就一丝不挂了。有这么一个地方，离我住的地方也就是2500米，因此我经常到那儿。我坐在包厢里，在圆齿边线的纸上做一点儿物理计算；有的时候，我画一个跳舞的女孩儿，或者画一个顾客，仅仅为了练习。

我妻子格温妮丝（Gweneth），是个英国人，我到这么个地方，她态度端正。她说："英国男人都有俱乐部可去。"因此，那儿就跟我的俱乐部似的。

那地方墙上挂着一些画，但我不是太喜欢那些画。那是用荧光性的

颜料画在黑色的天鹅绒上的——有那么点儿丑——画的是一个正在脱衣服的女孩儿什么的。我有一张相当不错的画，那是我用我的模特凯西画的，于是我就把这画送给了饭店老板，好挂在墙上，他很高兴。

给了他这么一幅画，结果产生了一些有用的结果。老板对我非常友好，我的饮料一直是免费的。现在，我每次到这个饭店，一个女服务员就给我端来免费的“七喜”（7-Up）。我一边看女孩儿跳舞，一边做做物理学研究，备备课，或者画点儿什么玩意儿。如果我有点儿累了，我就看一会儿节目，回头再做点儿研究。老板知道我不想有人打扰，因此，如果有个喝多了的主儿凑过来，要跟我说话，立刻就过来一个女服务员把他支走。如果有个女孩儿过来，他就不多事儿了。我们关系很好。他叫乔诺尼（Gianonni）。

我的画在那儿展览，有另一个效果，大家都问他，这画是怎么回事儿。有一天，一个家伙走到我这儿来说：“乔诺尼告诉我，那画是你画的。”

“是啊。”

“很好。我想请您画幅画。”

“行啊；你喜欢什么？”

“我要的这幅画，得画一头长着男人头的公牛，正在向一个裸体女斗牛士冲击。”

“那个，呃，要是我知道这幅画派什么用处，那会对我有点儿帮助。”

“我的开业典礼用得着。”

“什么买卖的开业典礼啊？”

“按摩廊。你知道的，小私密房间，按摩女——明白这事儿？”

“对，我明白这事儿。”我不想画一头长着男人头的公牛，正在向一个裸体女斗牛士冲击，于是我就想说服他放弃这个念头。“那会对顾客留下什么印象？那会让女孩儿们有什么感觉？你想过吗？男人们到那儿去，你用这画，把他们搞兴奋了。你希望他们那么对待那些女孩儿？”

我没把他说服气。

“假定警察进来了，他们看到这幅画，而你声称这是一家按摩廊。”

“对对对，”他说，“你说得对。我改主意了。我想要的这幅画嘛，如果警察看它，对一个按摩廊来说，那没什么不合适的；但是，顾客一看，他就会明白点儿事儿。”

“那好。”我说。我们商定了60块钱的润笔，我就开始画这画。首先，我得琢磨，这画怎么个画法。我想啊、想啊，觉得还不如当初就依了他，干脆画个裸体女斗牛士得了！

最后，我琢磨出了怎么来画：我画个想象中的罗马年轻女奴，在为某个重要的罗马人按摩——或许是个元老院议员。因为她是个女奴，她脸上就有某种表情。她知道下面要发生什么事儿，而她也只能听天由命。

我在这画上花了不少劳动。我让凯西当模特。后来，我找到了另一个模特来画那个男人。我做了许多研究，模特费很快就已经到了80块。我不在乎钱，我喜欢受托作画这一挑战。最后，我画完了一幅画：一个肌肉壮实的男人，躺在一张桌子上，女奴在给他按摩。她穿着某种长袍，盖住了她的一个乳房，另一个乳房裸着，我把她的那种听天由命的

表情，表现得恰如其分。

我正准备着去交差，把我的大作给按摩廊送去，乔诺尼却告诉我，那家伙给抓起来了，下了大牢了。于是我就问这个脱衣舞饭店的女孩儿，帕萨迪纳这方圆之内，有没有好的按摩廊愿意挂我这幅画。

她们告诉我帕萨迪纳和周围几家按摩廊的名字和地点，还告诉了我这么些事儿："如果你到了什么什么按摩廊，就说要找弗朗克——他是个挺不错的家伙。要是他不在，那就别进去。"还有："别搭理艾迪。艾迪可不懂一幅画有什么用处。"

第二天，我把画卷起来，把它放在我汽车的后座上，我妻子格温妮丝祝我好运，我就出发去访问帕萨迪纳妓院，去兜售我的画。

就在去我名单上的第一家妓院的时候，我心里想："你知道，我到其他地方之前，我应该先到原先那家按摩廊，说不定那儿还在营业呢，说不定新经理也要我的画呢。"我就去了那儿，敲门。门开了个缝儿，我看到了女孩儿的一只眼。"是熟客吗？"她问。

"不，不是，可你不想在门厅里挂一幅挺合适的画吗？"

"抱歉，"她说，"我们已经联系了一位艺术家为我们画画，他眼下正画着呢。"

"我就是那位艺术家，"我说，"你们的画，画好了！"

原来，那家伙在入狱之前，把我们的安排跟他老婆说了。于是，我就进去了，给她们看这幅画。

这家伙的老婆和他妹妹，现在操持着这个地方，不十分喜欢这画；她俩想让女孩儿们也来参谋参谋。我把画挂在墙上，就挂在休息室里，

姑娘们都从后面不同的房间里过来看，并且开始发表评论。

有个女孩说，她不喜欢女奴脸上的表情。“她看起来，不怎么乐，”她说，“她该笑才对。”

我对她说：“告诉我——你给一个家伙按摩的时候，可他连看你也不看，你还会笑？”

“哦，不！”她说，“我觉得我真真儿地就是她那副样子！但把这画挂起来，不是个事儿啊。”

我把画留在她们那儿了，在我为这画反反复复担心了一个星期之后，她们决定不要这画了。原来，她们不想要这画的真正原因，是那个裸着的乳房。我解释说，我画这画，要比原来要求的节制得多，但她们说她们对这画的看法，和那个家伙的看法有所不同。我想，这可够讽刺的，开了这么一家买卖的这些人，对一个裸露的乳房如此谨小慎微，真可博人一笑，我就把画拿回家了。

我那位做生意的朋友，达德利·赖特（Dudley Wright），看到这画，我就把这故事讲给他听了。他说：“你应该把价码提高到三倍才是。艺术这玩意儿，真没人知道它值多少，因此呢，大家就想啦，‘要是价码高，它的价值想必就大！’”

我说：“你疯了！”但是，仅仅是为了逗乐儿，我买了一个20块钱的画框，把这画装起来，好准备着卖给下一个顾客。

有个家伙，在气象台干活儿，看到了我给乔诺尼的那幅画，问我有没有别的画。我邀请他和他老婆，到我家楼下的“画室”来，他们问了那幅新装了框子的画。“那幅嘛，200块。”（我把60块乘以3，外加20块的画框费。）第二天，他们回来把那幅画买了。这就是说，按摩廊的画，最终挂在了一个气象预报员的办公室里。

有一天，一个警察突袭了乔诺尼的脱衣舞饭店，逮捕了几个脱衣舞女。有人想要乔诺尼停止脱衣舞表演，乔诺尼不想停。于是就起了一场大官司；这事儿，当地的几家报纸上都登着呢。

乔诺尼四处奔走，求顾客们为他作证，支持他。人人都找借口："我开了一家夏令营，要是家长们知道我到这么个地方来，他们就不会再把娃娃送到我这儿来了……"或者："我做的是什么什么买卖，要是公众知道我溜到这儿来，我们会失去顾客的啊。"

我心里想："这里只有我是自由人了。我没什么借口啊！我喜欢这个地方，我愿意看到它继续开下去，我看不出脱衣舞有什么不对的。"因此，我对乔诺尼说："好的，我很高兴为你作证。"

在法庭上，这个大问题是，脱衣舞对社区而言，是可取的吗？——社区标准允许脱衣舞吗？

辩护律师试图把我弄成个社区标准的专家。他问我，我是否也去别的酒吧。

"去的。"

"平均而言，您每星期去乔诺尼饭店几次？"

"一个星期五六次吧。"（这一点都记录在案了：加州理工学院的这位物理教授，一个星期六次去看脱衣舞。）

"乔诺尼饭店的顾客，都包括社区的什么样的人？"

"几乎什么人都包括：有一些干房地产的家伙，有一个家伙是市府的，加油站的一群工人，工程公司的一些家伙，一个物理学教授。"

"既然这个社区许多阶层的人都在看脱衣舞，都喜欢看，那么，您

是否会说脱衣舞娱乐活动，对社区而言是可以被接受的呢？”

“我倒想知道，你说‘对社区而言是可以被接受的’，是什么意思。没什么事儿，人人都接受。因此，为了使‘对社区而言是可以被接受的’这一说法成立，社区人口接受某事必须是多大百分比才成？”

这位律师建议了一个数字。其他律师反对。法官宣布休庭，他们在密室里待了15分钟，这才决定“对社区而言是可以被接受的”，意思是社区50%的人接受。

尽管事实上是我让他们把事儿弄得准确了，我却没有精确的数字可作证据，于是我说：“我相信社区50%以上的人，都接受脱衣舞，因此，脱衣舞对社区而言是可以被接受的。”

乔诺尼暂时输掉了官司，但他的这个案子和与此相似的另一个案子，最终上诉到了最高法院。与此同时，他的饭店还在经营着，我得到了更多的“七喜”饮料。

大约是在那个时候，加州理工学院做出了一些努力，以便培养学生对艺术的兴趣。有人捐钱把一座破旧的植物科学大楼，改造成了艺术工作室。设备和材料买来了，供学生们使用，他们还从南非雇了一个艺术家，来组织和支持加州理工学院的艺术活动。

各色人等都来教课。我把杰瑞·左提安弄来讲素描课，别的一个家伙来教版画，我想学这个。

这位南非艺术家来过我家一趟，看了我的画。他说，他认为举办一次个人画展，是很有意思的。这次，我可自欺欺人了：如果我不是个加州理工学院的教授，大家就不会觉得我的画有价值。

“我的一些比较好的画都卖了，给那些人打电话，我会觉得不安。”

“你不必担心，费曼先生，”他给我打气儿，“电话不必你打。一切都由我们来操办，画展一定会办得像模像样，没有差错。”

我给了他一个名单，那些人，都买过我的画，他们很快就接到了他的电话。“我们了解到您那里有一幅阿飞的画。”

“啊，是的！”

“我们正在筹划一次阿飞画展。我们在考虑，您是否可以把它暂时借给我们一用。”当然，他们很乐意借。

画展在加州理工学院教职工俱乐部“雅典娜神庙”的地下室里举行。一切都跟真事儿似的：所有的画都有标题，那些受托从拥有者那儿借来的画，都有所有权确认说明：例如，“乔诺尼先生热情出借。”

有一幅，画的是艺术班的那个金发碧眼的漂亮模特，那本来是我打算研究阴影效果的：我把灯光放在她腿的高度，放得斜一点儿，灯光向上射。她坐着的时候，我想照实际情形画阴影——她的鼻子颇不自然地在她的脸上投下了一道影子——这不是那么难看。我把她的躯干也画得很好，因此你也可以看到她的乳房，以及乳房投下的影子。我把这幅画和其他展出的画凑在一块儿，名之曰“居里夫人在观察镭的辐射”。我意在传达的信息是：没人把居里夫人看成个女人，没人把她看成一个秀发飘然、赤裸着乳房的女性。大家一看居里夫人，只想着镭。

展览之后，一位著名的工业设计家亨利·德瑞法斯（Henry Dreyfuss），邀请了各色人等到他家参加一个招待会——那个捐钱赞助艺术的女人，加州理工学院的校长和他妻子，等等。

一个艺术爱好者也来了，开始跟我聊：“告诉我，费曼教授，你画画，是用照片还是用模特？”

“我从来都是直接用模特来画。”

“呃，您是怎么让居里夫人为您摆姿势的？”

大约在那个时候，“洛杉矶县艺术博物馆”（Los Angeles County Museum of Art）有个看法和我的相似：艺术家对科学一点儿不理解。我的看法是：艺术家不理解自然的内在普遍性和自然之美，不理解自然规律（因此，不能在他们的艺术中描绘这类东西）。这个博物馆的想法是：艺术家应该更多地知道技术：他们应该更熟悉机械以及科学的其他实用功能。

这个艺术博物馆制订了一个计划，他们将让当时一些真正的艺术家，到各种各样的公司去，这些公司自告奋勇为这个计划出时间、出钱。艺术家们将到这些公司四处溜达，寻找有意思的东西，好用在他们的作品当中。博物馆认为，如果有个人明白一些技术上的事儿，那么艺术家参观公司的时候，他就可以时不时地做个艺术家的联系人什么的。因为他们知道，向人家解释事儿，是我的拿手好戏；说到艺术，我也不完全是个二百五（实际上，我想他们知道我在努力学画画）——无论怎么说吧，他们问我愿不愿意干这个差事，我同意了。

和艺术家去参观公司，乐事儿很多。经常发生的事儿，是某个家伙给我们看一根管子，里头放电火花，蓝盈盈的，曲曲折折的，漂亮。艺术家们全都兴奋了，问我，在展览的时候，怎么用用这个东西。搞这个东西，需要什么必要的条件？

艺术家都是些非常有趣的人。他们当中有一些，绝对是冒牌货：他们自诩为艺术家，别人也都承认他们是艺术家；但等你坐下来跟他们聊聊，他们简直就是言语无味！有个家伙，最是突出，是个最大的冒牌货，穿得总是滑稽，戴着一顶好大的圆顶硬礼帽。他回答你的问题的时候，用的是人人不懂的方式；等你问他用的一些词是什么意思，以便搞

清楚他刚才说的那些话是什么意思的时候，我们在另一个方向上又堕入云里雾里了！最后，他对艺术和技术展览的唯一贡献，是他的一幅自画像。另一些艺术家，我跟他们说话，开始的时候，你听不出什么意思来，但他们会不遗余力地为你解释他们的想法。有一次，和罗伯特·欧文（Robert Irwin）一起，我到了个地方，这也是计划的一部分。那是一次为期两天的旅行，费了好大劲，反反复复地讨论了很多，我终于理解了他试图向我解释的东西，我认为那很有意思，也很奇妙。

还有些艺术家，对真实世界绝对没有任何看法。他们以为科学家是某种大魔术师，他们什么东西都搞得出来，说的话像是这个样子："我想做一种三维的画，里头的形象是悬在半空中的，而且还发光，一闪一闪的。"他们制造他们希望的那样一个世界，但制造什么是有道理的，制造什么是胡扯淡，他们是没有什么理解的。

最后，有一个展览，他们要求我当评委，来评判艺术品。尽管那儿有一些好东西，艺术家通过参观公司而得到灵感的好东西，但我认为，大多数的好艺术品，是那些在最后一分钟逼出来的东西，和技术实在风马牛不相及。评委会的其他成员全都不同意我的看法，我发现自己处境尴尬了。艺术批评，我不擅长，我一开始就不该当这个评委。

在县艺术博物馆里，有个家伙，名字叫毛里斯·杜克曼（Maurice Tuchman），在谈到艺术的时候，确实知道自己在讲什么。他知道我在加州理工学院搞的那个个人画展。他说："你知道，你再也不会画画了。"

"什么？胡说！我为什么再也不……"

"因为你已经搞过个人画展了，而你不过是个业余画家。"

尽管自那以后我还是画画，但我不像以前那么卖力、那么投入了。

我也再没卖过一幅画。他是个聪明的伙计，我从他那儿学到了不少。如果我不是那么固执，我还可以学得更多。

电是火吗？

50年代早期，我暂时得了一种中年病：习惯于就科学发表哲学性质的讲话——科学是怎么满足好奇心的，科学怎么给你一个新的世界观，科学怎么赋予人做事情的能力，科学怎么给人力量——问题是：从新出现的原子弹这个东西来看，给人那么大的力量，是个好主意吗？我还思考过科学和宗教之间的关系。大约是在那个时候，我得到邀请参加在纽约的一个会议，讨论“平等的伦理学”问题。

在长岛那地方，这些老人以前曾经在那儿开了个会，今年他们决定让一些年轻点儿的人加入进来，来讨论他们在另一次会议上搞出来的一些论文。

在我赴会之前，他们到处散发一个列表：“这里是一些您或许有兴趣来读的书，请告诉我们你希望别人也来读的书，我们将在图书馆里收藏这些书，好让别人也来读。”

于是我就有了这么一个奇妙的书籍列表。我开始读第一页：其中的书，我一本也没读过，我很不自在啊——我不入流啊。我看第二页：我一本也没读过。整本列表看完了，我发现，这些书，我一本没看。我必定是个白痴，一个文盲！里头有好书，如托马斯·杰弗逊的《论自由》（*On Freedom*）之类的书。其中的作者，我也不知道几个。有一本书是海森伯[66]写的，一本是薛定谔写的，还有一本是爱因斯坦写的，但像爱因斯坦的《我的晚年》（*My Later Years*）和薛定谔的《生命是什么》（*What Is Life*），和我以前读过的东西有所不同。因此，我觉得自己真是一筹莫展了，我不该参加这个会议。或许我可以静悄悄地坐着

听。

我去参加了第一次好大的见面会，一个家伙站起来，解释说，我们有两个问题要讨论。第一个问题，有点儿云山雾海的——是关于伦理学和平等的什么玩意儿，但我听不明白这问题到底是什么。第二个问题，是“通过我们的努力，我们将展示一条道路，一条来自不同领域的人们之间可以进行对话的道路。”那儿还有个国际律师，一个历史学家，一个耶稣会的牧师，一个犹太教的拉比，一个科学家（我），等等。

好了，我的那个逻辑头脑立刻就这样转起来了：第二个问题，我完全不必在意，因为如果那行得通，它就行得通；如果它行不通，它就行不通——如果我们没什么可谈的，那么我们之间可以对话，这也用不着证明了，也用不着讨论了！因此，主要的问题是第一个，可那个，我又不懂。

我正想举手说：“你能不能把第一个问题定义得好些。”但我当时想：“别了，我不学无术；我最好还是听着点儿。我不想一开始就添乱。”

我所在的那个小组，应该讨论“教育平等的伦理学”。在我们小组的几次会议中，那个耶稣会牧师总在谈“知识的分崩离析”。他说：“教育平等的真实问题，是知识的分崩离析。”这位耶稣会牧师回顾了13世纪，其时天主教会主宰着全部的教育，整个世界都是简朴的。存在一个上帝，一切都来自上帝；一切都井然有序。可是，今天，理解任何事情，都不那么容易了。因此，知识已经分崩离析了。我觉得，“知识的分崩离析”和“一切”没关系，但他从来也没定义什么是“一切”，因此我没办法证明他的话。

最后，我说：“这个伦理学问题，怎么就和知识的分崩离析扯上了关系呢？”他呢，只是用大团大团的烟雾来回答我，我说：“我听不

懂。”可是别人都说听得懂，而且他们还努力为我解释呢，但他们没办法给我解释清楚！

因此，这个小组里的人，就让我把我认为知识的分崩离析不是一个伦理学问题的理由写下来。我回到宿舍，仔仔细细地写，尽量写得好，我认为“教育平等的伦理学”这个主题或许是个什么问题，我还举了各种各样的问题实例，我认为我们或许应该讨论这些东西。比方说，在教育中，我们增加差异，这是合乎道德的吗？然后，在又举了几个例子之后，我继续说，“知识的分崩离析”之所以是个麻烦事儿，是因为世界的复杂性使我们很难理解事物，照我对这一主题范围的定义，我看不出知识的分崩离析，怎么就和任何近似于教育平等的伦理学问题的任何东西有关系。

第二天，我把我的论文带进了会场，那个家伙说：“是的，费曼先生已经提出了一些非常有意思的问题，我们应该讨论这些问题，我们暂且把这些问题放一放，留待将来可能的时候再讨论吧。”他们完全没能理解我的主旨。我是想把问题定义清楚，然后表明为什么“知识的分崩离析”和我们的问题没任何关系。在那次会议上，没什么人能够说清楚任何事儿，原因就在于他们还没有把“教育平等的伦理学”这个问题定义清楚啊，因此，没人确切地知道他们该谈什么。

有个社会学家，写了一篇论文给我们大家读——这东西是他提前写的。我开始读这个鬼东西，我的眼珠子都要掉下来了：我简直搞不清楚它说的是个什么子丑寅卯！我琢磨着，之所以是这个样子，是因为我不曾读过列表上的那些书。我有一种颇不自在的感觉，“我学养不厚啊”，直到最后，我对自己说：“我得停下来，只慢慢读一个句子，那样我就能琢磨出它究竟是个什么意思。”

于是我就停下来——随便停在哪儿——然后读下一个句子，读得非常仔细。我不能精确地记得那个句子，但它非常近似于这么一个东

西：“社会大众的每一成员，常常是通过视觉的、符号的渠道来接受信息的。”我来来回回读了好几遍，还把它翻译成别的句子。你知道它是个什么意思？“人们阅读。”

然后，我过渡到下一个句子，我发现我也能翻译这个句子。结果它就变成了这么一种空虚无聊的玩意儿：“有的时候人们阅读，有的时候人们听收音机”，如此等等，但是它写得如此花里胡哨，我开始的时候都看不明白，等我终于把它破译了之后，它却空无一物。

那次会，只有一件事儿，是愉快的或者好玩的。在这次会议上，每一个家伙在每一次全体会议上说的每一个字，都太重要了，他们弄了速记打字员在那儿，把每一件混账事儿都打了下来。在第二天的某个时候，那个速记打字员走到我这儿说：“您什么职业？肯定不是个教授。”

“我是个教授。”我说。

“什么教授？”

“物理学的——科学。”

“哦！难怪。”他说。

“难怪什么？”

他说：“您瞧，我是速记打字员，把人家说的什么都打下来。别的伙计讲话的时候，他们说什么，我就打什么，但我听不懂他们在说什么。但每次您站起来问个问题，或者说什么东西，我完全明白您是什么意思——明白问题是什么，您说的是什么——因此，我还以为您不可能是教授！”

到了一定的时候，有个特别的晚宴，一个神学院的院长，一个很好

的、很犹太的人，发表了演说。那是个很好的演说，他也很会说话，因此，尽管在我现在说这事儿的时候，那演讲听起来是发疯，可在当时，他的主要思想，听起来却是完全明显而真实。他讲的是各国福利上的巨大差别，这引起了嫉妒，导致了冲突，现在，既然我们已经有了原子武器，那么无论是什么样的战争，我们都在劫难逃，因此追求和平的正确出路，在于确保每个地方不存在差别，因为在美国我们有的东西过多了，我们就应该把几乎全部的东西都放弃，都送给别的国家，直到大家扯平了为止。大家都在听这个，我们全都充满了牺牲的情感，大家都认为我们应该这么办。但是，在回住处的路上，我恢复了理智。

第二天，我们小组的一个家伙说："我认为昨天晚上那个演讲，太好了，我们大家都应该签字认可，它应该成为我们这次会议的纲领性文件。"

关于平均分配一切东西的这一思想，我开始说，它建立在这么一种理论上：全世界只有X量的东西，不知怎么我们首先从比较穷的国家那儿把东西抢了过来，因此，我们应该把东西还给人家。但是，这个理论没有考虑到国家差别的真正原因——即用来种植作物的新技术发展，用来种植作物和做其他事情的机械发展，以及所有这些机器需要资本的集中这一事实。问题不在于东西，而在于制造东西的力量，那才是重要的。但我现在意识到，那些人不在科学之中，他们不理解这个。他们不理解技术；他们不理解自己的时代。

这次会议使我神经大受刺激，我在纽约认识的一个女孩儿不得不让我安静下来。"瞧你，"她说，"你都哆嗦呢！你绝对变成了个大傻瓜！有什么大不了的啊，别把事儿看得那么严重。退后一步，把事儿看清楚了。"于是我就思考这次会议，它多么傻，它多么坏。但是，如果有人要求我再参加那种东西，我将羞臊得像个疯子似的逃之夭夭——我的意思是，零！不！绝对不参加！直到今天，我仍然收到参加那种玩意儿的

邀请函。

到最后评价这次会议的时候，别人都说，他们从本次盛会得到了那么多的教益，这是一次成功的大会，诸如此类。他们问我的时候，我说："这次会议，比罗尔沙赫氏测试（Rorschach test）[67]还糟糕：那儿有一团毫无意义的墨迹，别人问你，你认为你看到了什么，等到你告诉他们你看到了什么，他们就开始跟你吵闹！"

比这更坏的是，在会议结束的时候，他们要去开另外一个会议，但这次有公众参加进来，负责我们小组的那个家伙有胆量说，因为我们已经有了这么多收获，再说也没有什么进行公众讨论的时间了，所以我们干脆告诉公众我们已经得到的收获。我眼珠子都要爆出来了：我认为我们一点混蛋收获也没有嘛！

最后，在讨论我们是否已经发展出了一种在来自不同学科的人们之间进行对话的途径这一问题——我们的第二个基本"问题"——的时候，我说，我注意到某种有意思的事儿。我们每个人都谈了我们所认为的"关于平等的伦理学"是个什么东西，都是从我们自己的观点来谈的，却不在意别的家伙的观点。比方说，这位历史学家建议，理解伦理学问题的途径，是历史地看那些问题是怎么发展起来的；国际律师建议，搞这个途径，是看人们在不同的情况下是怎么发出不同行动的，以及是怎么做安排的；这位耶稣会牧师，总是提起"知识的分崩离析"；我呢，作为科学家，建议我们应该把这个问题单独来处理，在方式上应该像伽利略做实验的那种技巧；如此等等。"因此，在我看来，"我说，"我们还完全没有什么对话。恰恰相反，除了一团乱麻，我们什么也没有！"

我理所当然地遭到了攻击，来自四面八方的攻击。"难道您不认为秩序是从混乱中产生的吗？"

"啊，那个，作为一个一般原则，或者说……"我搞不明白这怎么扯

上了“秩序是从混乱中产生的吗”这个问题。是，不，这怎么说呢？

在那次会上，傻瓜有的是——自负而浮夸的傻瓜——这种傻瓜，能把我逼得上墙。一般的傻瓜，无可指责；你可以跟他们谈，努力帮助他们把事儿搞明白。可自负而浮夸的傻瓜——就是那种又傻、又掩盖其傻，并且一门心思地要给大家留下深刻印象的傻瓜，他们连哄带骗，以此显示他们多么有能耐——那个，我无法忍受！一般的傻瓜，并不装模作样；诚实的傻瓜，无可指责。但是，一个不诚实的傻瓜，可怕！那就是我在那次会议上的收获，自负而浮夸的傻瓜，都成串儿了，我心烦意乱。我再也不让自己心烦意乱了，因此我再也不参加跨学科会议了。

在开会期间，我待在“犹太教神学院”，在那里，年轻的拉比们——我认为他们是正统教派——在做研究呢。因为我有犹太背景，他们告诉我的那些关于犹太法典的事儿，我也略知一二，但我从来没看过犹太法典。这法典很有意思：大开本，页角上的小方框里，是原文的犹太法典，然后在一种L形的页边上，围绕着这个方框，是不同人写的注解。犹太法典已经发展了，一切都经过反反复复的讨论，讨论得非常细致，用的是一种中世纪的推理方式。我认为，那些注解，到13或14或15世纪，就停了——没有什么现代的注解。犹太法典是一本奇书，是一只装着各种各样事儿的大罐子：琐屑的问题，困难的问题——例如，关于教师的问题，如何教学的问题——接着又是一些琐事，等等。学生们告诉我犹太法典从来没有被翻译为其他文字，这事儿透着怪，因为这书是这么有价值。

有一天，两三个年轻的拉比来找我，说：“我们意识到，在现代世界上，要是不知道科学的事情，我们学不成拉比的，因此我们想问您一些问题。”

当然，发现科学的地方，何止千万，哥伦比亚大学就在附近嘛，但对他们要问什么样的问题，我感兴趣。

他们说："那个，比方说，电是火吗？"

"不是，"我说，"但……干吗问这个？"

他们说："犹太法典里说，安息日汝不得举火，因此，我们的问题是，在安息日我们可以用电器吗？"

我深感震惊。他们对科学完全不感兴趣！科学影响他们生活的唯一方式，是他们或许能更好地解释犹太法典！他们对外部世界、对自然现象，没兴趣；他们唯一感兴趣的事儿，是消化犹太法典提出的问题。

后来，有一天——我猜是安息日——我去用电梯，有个家伙站在电梯旁边。电梯来了，我进去，他也跟我进来了。我说："几楼？"我伸手要去按电钮。

"不，不！"他说，"该是我为您按电钮的。"

"什么？"

"是的！这儿的小伙子们说，安息日是不可以按电钮的，因此我一定要为他们按电钮。您知道，我不是犹太人，所以我按电钮没关系。我站在电梯边儿，他们告诉我几楼几楼，我就为他们按电钮。"

唉，这真是让我闹心，于是我决定在一场逻辑讨论中把这些学生置于尴尬境地。我是在一个犹太家庭长大的，因此我知道他们用的那种吹毛求疵的逻辑，我想："这是个乐子！"

我的计划是这样的：我一开始就会问："犹太观点是任何人都可以采纳的观点吗？因为，如果不是，那么这种观点肯定就不是对人类真有价值的东西……"于是，他们会说："是的，犹太观点任何人都可以采纳。"

然后，我会牵着他们的鼻子再走上一圈儿，我问：“一个人雇另一个人来做对自己来说是不道德的某事，是道德的吗？比方说，你们会雇一个人来为你们抢劫吗？”慢慢地，非常小心地，我不停地把他们往套子里引，直到我把他们——逮住！

你知道真正发生了什么事儿？他们都是犹太教学生，是吧？他们比我强十倍！他们一看出我能把他们赶到窟窿里，就挣扎、扭动、挣扎——我记不得他们是怎么挣扎、怎么扭动的——挣脱了！我还以为我遇到了个原创的观点呢——呸！他们的观点，在犹太法典里，已经讨论了好几个时代了！他们收拾我，就跟吃馅儿饼那么容易——他们完全挣脱了困境。

最后，我想让这些犹太教学生确信，他们在按电梯按钮时出现的那种让他们不安的电火花，不是火。我说：“电不是火。电不是化学过程，火是。”

“哦？”

“当然，在火中的原子之间，是有电的。”

“啊哈！”他们说。

“世界上发生的任何其他现象里，都有电。”

我甚至还建议了一个消除火花的可行办法。“如果那个东西让你闹心，你可以在开关上加一个电容器，那样的话，电断开、接上，都不会有任何火花——任何地方都不会有。”但不知道是什么原因，他们也不喜欢这个主意。

这实在叫人失望。他们待在我这儿，慢慢缓过神来，仅仅是为了更好地解释犹太法典。你想想啊！身在这么一个现代化的时代，那些家伙

在研究，以便走向社会，去干点事儿——去当个拉比——他们想到科学或许有意思的唯一方式，是他们那些古老的、狭隘的、中世纪的问题，稍稍受到了某种新现象的骚扰。

当时还发生了另一件事儿，也值得在这里提一提。犹太教学生和我仔细讨论过的问题，有一个是为什么在某些学术的事情上，比方说理论物理学方面，犹太孩子在其中所占的比例，高于一般人口在其中所占的比例。犹太教学生认为，其原因在于，犹太人有着尊重学习的历史：他们尊重他们的拉比，拉比实际上是教师，他们也尊重教育。犹太人一直在家庭里把这种传统传承了下来，因此，如果一个小伙子是个好学生，那他就和好的足球队员一样好，即使不更好。

就在当天下午，他们提醒我这种说法有多么真实。我应邀到了一个犹太教学生的家里，他把我介绍给他妈妈，她刚从华盛顿回来。她两手一击，喜出望外，说："哎哟喂！我这一天，算是功德圆满了。今天，我见到了一位将军，还有一位教授！"

我心知肚明：没有多少人认为见到一位教授，和见到一位将军一样重要、一样好。因此，我猜，学生的那种说法，真有道理哟。

书好书坏，看看封面

战争之后，物理学家常常被召到华盛顿，给各政府部门，特别是军事部门，献计献策。何以如此？我猜是这样：由于科学家已经制造了那些如此重要的原子弹，军方就觉得，我们这些人，在某些事情上，还可以派派用处。

有一次，有人要求我在一个委员会里当差，这个委员会要为军方评估各种各样的武器，我写了封回信，解释说，我只是个理论物理学家，

我不知道任何关于军队用的武器的事儿。

军队的反应是，根据他们的经验，他们已经发现理论物理学家在他们决策的时候，是非常有用的，因此，我可否再做考虑？

我又回了封信，说我实在一无所知，我怀疑我能帮他们什么忙。

最后，我收到了陆军部长的一封信，信中建议了一个折中方案：我去参加第一次会议，我可以听听，看我能不能有所贡献。然后呢，我再决定我是否继续干下去。

我说，我去，当然。我还能怎么办啊？

我去了华盛顿，我参加的第一个玩意儿，是一个鸡尾酒会，好认识各位。那儿有将军和陆军来的其他重要人物，大家都在聊着。这很令人愉快。

一个穿军服的家伙朝我走来，告诉我，物理学家给军方献计献策，军队是很高兴的，因为军方问题很多。其中的一个问题，是坦克耗油太快，所以跑不远。因此，问题就是：怎么在坦克跑着的时候给它加油？这个家伙，当时脑袋里有个主意：既然物理学家能从铀里捣鼓出能量，那么我能不能搞出一个办法，把二氧化硅——沙子，泥土——用作燃料？假如此事可行，那么只需要在坦克下面装个小铲子，它一往前走，铲子就挖土，把土当燃料！他觉得这主意相当伟大，我需要做的事儿，不过是搞出具体的细节而已。我想，这就是我们次日开会讨论的那类问题了。

我去开会，注意到在鸡尾酒会上把我介绍给大家的那主儿，就挨着我坐着。他显然就是一个受命跟在我屁股后面的奴才。我的另一边，是一个高级的将军，我以前听说过。

在第一次会上，他们谈了些技术上的事儿，我稍微评论了几句。但后来，快到会议结束的时候，他们开始讨论后勤方面的某个问题，这我就一无所知了。这问题是要琢磨出在不同时间、不同地点，你应该有多少东西。尽管我努力想闭紧自己的嘴，但人处在那种情况中，你跟这些“重要人物”围坐一张桌子，讨论这些“重要的军国大计”，你就是不能把嘴闭上，尽管你啥也不知！因此，我在那次讨论中，也发表了一些评论。

下次咖啡时间，那个跟牧羊犬似的受命不离我左右的家伙说：“您在讨论时说的那些事情，给我留下了非常深刻的印象。那确实是一个重要的贡献。”

我沉吟片刻，思忖我对后勤工作的“贡献”，意识到，一个在商店里负责为圣诞节订货的家伙，在琢磨那种问题的时候，会比我更在行。因此，我的结论：a）如果我确实有所贡献，那是瞎猫撞到了死耗子；b）这种事儿，任何别人都做得来，但大多数比我都做得好；c）这种恭维应该让我清醒一下了，实际上我贡献不了多少。

他们迅即在会上决定，他们最好是讨论一下科学研究的组织方式，（比方说，科学发展应该归工兵团管还是归军需处管？）而不是讨论具体的技术问题。我知道，如果我有希望做出任何真正的贡献，那也只能是在某些具体的技术问题上，我实在不知道怎么组织军队中的研究。

直到那时，我也没让这次会议的主席——就是那个邀请我来参加会议的大腕儿——知道我对这种情况的感觉。在我们收拾行囊要走的时候，他满面微笑地对我说：“你这就跟我们同舟共济了，那么，下次会议……”

“不，我不来了。”他脸色顿时为之一变，这我看得出来。他很吃惊我在做出了那些“贡献”之后，竟然会说不。

60年代初，我的许多朋友仍然在向政府献计献策。与此同时，我没什么社会责任感，尽可能拒绝到华盛顿去；在那年头，这是需要一定勇气的。

那时我为大学新生开了一系列物理课，在其中的一门课讲完之后，帮助我在上课时做演示的汤姆·哈维（Tom Harvey）说："你可得看看课本里的数学是怎么回事儿！我女儿带回家好多发疯的玩意儿！"

我没把他的话当回事儿。

但第二天我接到个电话，是帕萨迪纳一位颇有名气的律师诺瑞斯（Norris）打来的，当时他是"州教育委员会"的人。他问我愿不愿意为"州课程编制委员会"服务，这个委员会得为加利福尼亚州选择一些新课本。你知道，这个州有一项法律，全部公立学校的所有孩子用的课本，都必须是州教委选择的，因此他们设立了委员会来检查课本，向他们提出建议应该选哪些书。

原来，许多课本都是根据教算术的新教学法（他们称之为"新数学"）来编写的。因为通常看这些书的人，只是老师和主管教育的官员，他们认为，让一个在科学上运用数学的人帮忙评价课本，会是个好主意，这样的人知道最终产品是什么，也知道我们教数学是为了什么。

我当时若不跟政府合作，一定有负疚感，因为我同意参加这个委员会。

立刻，我就开始接到出版社的信和电话。他们说的是这么些话，"我们很高兴获悉您在委员会里，因为我们确实需要一位懂科学的人……"还有，"委员会有一位科学家是很好的，因为我们的课本就是以科学为指针……"但他们还说这样的话，"我们愿意向您解释我们的课本……"以及"我们很乐意以任何力所能及的方式帮助您来评估我们的课

本……”这在我看来是发疯。我是个客观的科学家，在我看来，孩子们在学校里得到的唯一东西就是课本（教师有教学指南，我也得看）。出版公司多余的解释是捣乱。因此，我不想和任何出版社说话，我总是这么回答：“你们不必解释，我相信书会自己说话。”

我代表一个区，这包括洛杉矶的大部分地区，只是洛杉矶市区除外。洛杉矶市区的代表是一位很好的女士，在洛杉矶学校系统工作，名字叫怀特豪斯（Whitehouse）夫人。诺瑞斯先生建议我应该跟她见见面，看看委员会干的是什么，怎么干。

怀特豪斯夫人开始告诉我他们下次会议要谈的事儿（他们已经开过一次会，我任命得晚）。“他们要讨论数字计算的问题。”我知道那是什么意思，但后来知道那是他们称之为整数的东西。每种东西，他们都另有名称，所以我一开始就麻烦不少。

她告诉我，委员们通常是怎么来给课本打分的。每本书，他们会收到好些册，然后分给他们区里的许多老师和官员。然后，他们收报告，报告上有这些人对这些书的看法。因为我不认识很多老师和官员，还因为我觉得我得自己读那些书，我才能拿得准在我看来怎么样，所以我宁肯亲自读书。（我区里有些人，早就希望看这些书呢，希望有机会发表自己的意见。怀特豪斯夫人建议把这些人的报告，和她的报告放在一起，那样他们会感觉舒服点儿，我也不必担心他们发牢骚了。他们满意，我也没惹很多的乱子。）

几天后，书库的一个家伙打电话给我，说：“我们准备给您寄书了，费曼先生；总共有300磅。”

我犯晕了。

“没关系，费曼先生；我们会找个人帮你看书。”

我琢磨不出你怎么帮我看书：你或者是自己看，或者是不看。我专设了一个特别的书架，放在楼下我的书房里（那些书摞起来有5米高），然后就开始读所有这些在下次会上要讨论的书。我们先从小学课本开始讨论。

这是个相当大的活儿啊，我一天到晚在地下室里工作。我妻子说，那段时间，她好像住在一座火山上。这火山会安静一阵子，可突然之间，“轰隆隆隆隆隆隆隆隆隆隆隆！”——下面的火山就会有一个大爆发。这原因是那些课本太稀松。满纸荒唐言，都是急就章。那些书倒是想严格一些，但用的那些例子（如用街上的汽车来阐述“集”的概念）是牵强的，总有些词不达意。定义不严格。一切都有那么点儿含糊其词——写书的人不够聪明，不理解“严格”是什么意思。他们胡乱编造。他们在教某种自己也不明白的东西，而且，事实上，在那个时候，那些东西对孩子们也没用处。

我明白他们意欲何为。在苏联放了卫星之后，许多人认为我们落后于他们，有人就让一些数学家出谋划策，怎么运用非常有趣的现代数学概念来教数学。这个目的是想提高那些觉得数学很乏味的孩子们的数学水平。

我给你一个例子：他们要讨论不同的进位制——五进制，六进制，等等——来表明不同的进位制是可能的。这对那些能够理解十进制的孩子来说，或许是有趣的——一种娱乐大脑的东西。但在这些书里，他们搞的那一套，结果是让每一个孩子必须学会另外一种进位制！紧接着，通常会有的那种恐怖就来了：“将下列七进制的数字，翻成五进制的数字。”把一种进位制的数，翻成另一种进位制的数，是吃饱了撑的。要是你会做，或许是个乐趣；要是你不会，就别理会它。这事儿没意义。

无论如何，我看所有的书，没有一本说过在科学中运用数学的事儿。如果有什么关于算术的用处的例子的话（大多数时候，那例子都是

这种抽象的、新鲜的、现代的胡说八道），却是说的买邮票的事儿。

最后，我看到的一本书，说：“数学以许多方式运用在科学当中。我们将给你一个天文学的例子。天文学是关于星体的科学。”我翻过这一页，它说：“红色的星温度有4000度，黄色的星温度有5000度……”——到目前为止，还好。它继续说：“绿色的星温度有7000度，蓝色的星温度有10000度，紫色的星温度有——（一个很大的数）。”没什么绿色的或者紫色的星啊，但和其余的星相关的数字，大体算对。那是马马虎虎地对——但是，麻烦已经出现了！满篇都是这么搞法：一切都是由某个并不知道他自己在讲些什么的主儿写的，因此总是有一些小错误！用这种课本，写课本的人又不十分知道他们在讲什么，我们怎么可能教得好啊，我不能理解。我不知道为什么，但书是马虎的；普遍地差劲！

话说回来，这本书还是让我高兴的，因为把数学运用到科学上，这是第一本。等我读到星体的温度的时候，我有那么点儿不高兴，但我不是非常不高兴，因为它多少还算是对的——它只是例子错了。接着却出现了一串错误。它说：“约翰和他爸爸出去看星星。约翰看到了两颗蓝色的星和一颗红色的星。他爸爸看到了一颗绿色的星，一颗紫色的星和两颗黄色的星。约翰和他爸爸看到的星星的温度一共是多少度？”——我厌恶之极，要爆炸了。

我妻子该说起楼下的火山了。那只是一个例子：那样的东西太多了。多得荒唐啊！把两颗星的温度加起来，是吃饱了撑的。没人曾经干过这样的事儿，除非接着求两颗星的平均温度，或许是例外，但不是要发现所有星体的温度总和！可怕！它不过是个让你做加法的游戏，他们也不理解自己在讲什么。那就好像读一个有几个排版错误的句子，接着，突然一整句都印反了。这种数学与此相似。简直没指望了！

然后，我去参加我的第一次会议。别的委员已经给一些书打了某种

分数，他们问我，我的分数是怎么打的。我的分数经常和他们的不同，他们就问：“您为什么给那本书打分打得那么低啊？”

我就说，那本书的毛病，是哪一页上的这个、这个——我做了笔记。

他们发现我是某种金矿：我详详细细告诉他们，在所有的书里，什么是好的，什么是不好的；我打的每一个分数，都有根据。

我问他们为什么给那本书打分打得那么高，他们就说：“让我们听听您对这本书的想法。”我从来也没发现他们是按照什么方式来打分的。他们倒不停地问我是怎么想的。

我们检查到某一本书，它是一个公司出版的三本一套的小学课本中的一本，他们问我对这本书的看法。

我说：“书库没给我寄这本书，但另外两本不错。”

有个人还要重复这个问题：“您对这本书有什么看法？”

“我说过，他们没给我寄那本，所以我对它没法判断。”

书库的人在那儿，他说：“对不起，我可以解释这件事儿。我没给您寄那本书，是因为它还没写完。有个规定，就是必须在某个时间之前把书都送来，那家出版社赶不及，因此他们只把封面发给我们，里头都是白纸。出版公司写了个条子来表示歉意，并希望他们那一套三本书能够列入考虑之中，虽然第三本要晚一些。”

我却发现，某个委员给那本无字之书也打了分！他们不相信那是本空白书，因为那本书有分数啊。事实上，那个分数比另外两本还高一点儿呢。书里空空如也，这个事实竟然和分数无关。

我相信，出这种事儿，其原因在于这个制度就是这么个方式。在你把书分发到这个地方的一些人手里的时候，他们忙；他们马虎；他们是这么想的，“哎呀，反正有那么多人都在读这本书嘛，打多少分无所谓。”他们就信手画上个分数——至少有些分数是这么打的，不是全部，但有些是这么打的。然后，你收到了报告，你不知道为什么这本特殊的书得到的报告比别的书少——于是你就把你得到的报告上的分数一平均，你没把没给你报告的那些人打的分平均在内——就是说，或许一种书发下去了十本，这本书有六个人写了报告——于是你就把写了报告的人打的分数一平均；你没有把没写报告的人的分数也平均了，于是你得到了一个看似合理的分数。这种一直在求平均数的过程，忽视了一个事实：在那本书的书皮之下，绝对是空空如也！

我之所以搞出了这么一个理论，是因为我看到了在课程编制委员会里发生的事儿：那本无字书，十个委员中有六个写了报告；可是，别的书，十个委员中有八九个写了报告。他们把六个分数平均一下得到的分数，和把八九个分数平均一下得到的分数，一样好。发现给那么一本书也打了分，他们非常尴尬，这事儿却给了我更多的自信。原来其他委员把大量工作花费在发书和收报告上，再就是去开会。在会上，出版社在他们看那些书之前，为他们解释那些书。委员会中，只有我自己一个人看了全部的书，也没采纳从出版社那里来的任何信息，除了课本之外，而课本是最终进入学校的东西。

想搞清楚一本书是好是坏，是仔细地去读，还是从许多漫不经心的人那里收报告，这个问题和那个有名的古老问题有几分相似：没有人获准看到中国皇帝，问题是：中国皇帝的鼻子有多长？为了找到答案，你遍访全国人民，问他们认为中国皇帝的鼻子有多长，然后你把不同的长度平均一下。你以为那是非常“准确的”，因为你把那么多人的数据平均了。但是，要发现点儿东西，那不是个法子；你让范围那么广大的人来贡献数据，可他们全都漫不经心，通过求平均数，你是不能知道得更准

确一点儿的。

起先，没人指望让我们讨论课本的价格。有人告诉我们，我们可以选多少种书，于是我们就设计了一个工作程序，允许许多补充课本，因为全部的新书都有这样那样的缺陷。最严重的缺陷，在“新数学”课本里：没有应用题；用文字表述的问题，不够多。连卖邮票的事儿也不谈，换算和抽象的东西倒说得太多，却没把这些东西转化为现实世界里的实际应用。你干的是什么：加、减、乘还是除？因此，我们建议把确有一些实际应用的书当作补充课本——每个班有一两种——作为学生课本的一个补充。花费了许多讨论时间，我们把一切都搞得平衡妥帖了。

等我们把推荐意见交给教委的时候，他们告诉我们，钱没有他们预期的那么多，因此我们不得不返工重来，砍掉这个，砍掉那个，现在要把费用考虑进来，原先那个四平八稳的方案就给毁了，在毁了的那个方案中，教师有机会找到他们需要的东西的一些实例。

既然他们改变了我们可以推荐多少书的老规矩，我们就不可能把事情搞得平衡了，这是个相当平庸的方案。等参议院拨款委员会得到这个方案的时候，这个方案还在挨砍呢。现在，它可真是差劲了！在讨论这个问题的时候，有人让我去见州参议员，但我拒绝了：到那个时候，为这事儿争来争去的，我也累了。我们把提交给教委的推荐报告都预备好了，我也认为把这个推荐报告提交给州里，是他们的工作——这在法律上是没问题的，但在政治上不那么稳妥。我不该这么快就放弃，但是，为了那些书，花了那么大力气，费了那么多口舌，才搞出了那么一个相当平衡的方案，然后呢，把它从根儿上捣毁——这可不提情绪！这整个过程全是无用功，你本来应该反过来，从另一头儿做起：从课本费用为起点，你有多少钱，就买什么书。

第二年，我们要讨论科学课本，这事儿最后让我斩钉截铁，不干了。我以为科学课本或许不同，因此我就看了几本。

同样的事儿又发生了：事情乍看起来还不错，接着就让你恶心透顶。比方说，有一本书，开始是四张图片：第一张是个弹簧驱动的玩具，接着是一辆汽车，接着是一个骑自行车的男孩子，接着是别的什么东西。每张图片下面说："什么让它动？"

我想："我知道这是个什么用意：他们要谈机械，玩具里的弹簧是怎么工作的；要谈化学，汽车发动机是怎么工作的；要谈生物学，肌肉是怎么工作的。"

这种事情，我爸爸谈过："什么让它动？一切运动，是因为太阳在照射。"我们接着讨论这事儿，就很有意思了：

"不对啊，玩具动，是因为里面的弹簧上紧了。"我说。

"弹簧是怎么上紧的？"他问。

"我把它扭紧了。"

"那么你怎么会动呢？"

"我吃饭有劲儿啊。"

"庄稼生长，仅仅是因为太阳在照射。因为太阳在照射，所有这些东西都在动"。那样我就得到了一个概念：运动仅仅是太阳能的转化。

我翻过这一页。关于那个玩具，答案是："能量让它动"。关于那个骑自行车的男孩儿，"能量让它动"。关于任何事儿，"能量让它动"。

那毫无意思啊。假定你不说"能量"，你说"老毛猴子"。那样的话，那个普遍原则就是："老毛猴子让它动。"这里面出不来什么知识。孩子理解不了任何东西，那不过是个词儿嘛！

他们应该做的，是看着这个玩具，看清楚它里面有弹簧，了解弹簧是什么东西，了解轮子是什么东西，别把“能量”当回事儿。过后呢，等着孩子们理解了这玩具实际上是怎么工作的时候，他们才能讨论关于能量的更普遍的原理。

再说，“能量让它动”，这也不对，因为等玩具停的时候，你也同样可以说，“能量让它停”。他们谈的那件事儿，是浓缩起来的能量，正在转化为稀释了的形式，这是关于能量的一个非常微妙的方面。在这些例子里，能量，既不增加，也不减少；它只是从一种形式变为另一种形式罢了。当东西停下来的时候，能量变成了热，变成了一般的无序状态。

但是，所有的课本都是那个写法：说的那些事儿，没用、混乱、含混、迷惑，以及部分地不正确。谁能从这种书里学到科学，鄙人不知，因为那不是科学。

因此，我看到这些令人作呕的课本，毛病和那些数学课本一样，这时我就看到我的火山形成过程又开始发动了。读那一堆数学课本，使我精疲力竭；全部努力付诸东流，使我情绪低落。再这么折腾一年，我闻之色变，我得辞职。过了一阵子，我听说，那本“能量让它动”的课本，即将被推荐给教委的课程编制委员会，于是我就做了最后一个努力。委员会的每次会议，都允许公众发表评论，于是我就站起来，说我为什么认为那本书坏。

那个在委员会取代了我的主儿说：“什么什么飞机公司的65位工程师，都认可了那本书。”

我不怀疑那个公司有一些相当不错的工程师，但采纳65个工程师的意见，就是相信大范围人的能力——这必然要把一些相当可怜的家伙的能力也包括在内！这又是那个求中国皇帝的鼻子平均有多长的问题，又是那个给无字之书打分的问题。先让那个公司来决定谁是比较好的工程

师，然后让这些比较好的工程师来检阅这个课本，那就会好得多。我不敢自称我比65个家伙更聪明——但我比65个家伙的平均数更聪明，却是肯定无疑的！

我没办法把这个道理给他们讲明白，委员会认可了那个课本。

在我还在委员会里的时候，我不得不去了几趟旧金山开了几次会，等我第一次出差回到洛杉矶的时候，我在委员会办公室停了一下，报销我的费用。

“花销是多少，费曼先生？”

“那个，我坐飞机到旧金山，因此那就是机票，再加上我在离开以后把汽车留在机场那儿的停车费。”

“您带着机票？”

我碰巧带着机票。

“您有停车场的发票吗？”

“没有，但我把车停在那儿，花了2.45美元。”

“可我们必得要发票啊。”

“我告诉过你，那花了多少钱。如果你们信不过我，那么，关于那些课本，为什么还要让我来告诉你们什么叫好、什么叫坏呢？”

这事儿焖炖了不少时间。不幸的是，我以往都是为公司、大学或者普通人上课。我习惯于这么一种搞法：“您花销多少？”——“这么这么多。”——“这是您的钱，费曼先生。”

于是我决定：不管什么事儿，我是不打算给他们发票的。

第二次出差到旧金山之后，他们又要机票和发票。

“我啥票也没有。”

“这可不行啊，费曼先生。”

“在我接受为本委员会工作的时候，有人告诉我，你会为我支付开支。”

“但我们期望得到发票来证明开支啊。”

“我没什么东西来证明开支，但是你知道我住在洛杉矶，你知道我到了这些别的城市；你以为我究竟是怎么到了那些地方的？”

他们不肯通融，我也是。我觉得，当你身处此境的时候，你要真的跟这个“制度”较起真儿来，那你就必须愿意吃不了兜着走。因此，我心甘情愿，但我的出差费用始终没报销。

这是我玩儿的一种游戏。他们要发票？我偏不给他们发票。那么你就别要钱。那好，不要钱就不要钱。他们信不过我？见他的鬼去。他们用不着给我报销。当然，这事儿荒唐！那是政府的工作方式，这我知道；那好，去他的政府！我认为，人应该把人当人来对待。除非我能得到人的待遇，我就不想和他们有来往！他们感觉不良？我也感觉不良。该怎么办就怎么办吧。我知道他们在“保护纳税人的利益”，但是，在下面这件事儿中，你看看，纳税人得到了什么样的保护。

在进行了很多讨论之后，有两本书，我们形成不了决定；这两本书极其相似。所以，我们就把这事儿留给教委裁决。因为委员会现在开始考虑费用了，又因为那两本书半斤对八两，委员会就决定招标，取价低

的。

问题接着就来了，“学校是在正常时间得到书，还是或许在新学期之前早一点儿得到书？”

一个出版社的代表站起来说：“我们很高兴你们接受了我们的投标；我们能够在下学期把书提前送去。”

那个输了标的出版社的代表，也在那儿，他站起来说：“因为我们的标是根据较晚的期限投的，我认为，我们应该有按照较早期限重新竞标的机会，因为我们也可能早一点出书。”

诺瑞斯先生，在委员会里的帕萨迪纳的律师，问后面那个出版社的家伙：“你早一点儿出书，我们要出多少钱？”

那家伙出了个价：便宜了一点儿。

头一个家伙站起来：“如果他改变他的投标，我也有权力改变我的投标！”——他出价更低！

诺瑞斯问：“哦，是那样吗？——我们提前得到书，并且更便宜？”

“是的，”一个家伙说，“我们可以用一种特别的印刷方法，我们一般不用的……”——这是在解释为什么会便宜。

另一个家伙随声附和：“你做得越快，费用就越少！”

这可真是骇人听闻。最后是便宜了200万美元啊。这种突然的变化，真让诺瑞斯七窍生烟。

结果事情当然是这样：交货日期不定了，就开了口子让这些家伙重新投标。正常的情况是，当选书不考虑价格的话，那就没有理由降低价

格；出版社想定什么价就定什么价。通过压价来竞争，没好处；他们那种竞争方式，是为了给课程编制委员会留下印象。

顺便提一下，只要委员会开会，出版社就招待课程制定委员会的人吃午饭，跟他们谈书的事儿。我从来没去。

事儿在今天看来，是一目了然的，但人在当时，遇到下面这种情况，我不知道那是怎么回事儿：我收到了一包干果，或者“西联公司”寄来的无论什么东西，里头还附带了一个纸条儿，“从我们家到你们家，感恩节快乐——帕米里奥一家。”

东西是从长滩（Long Beach）[68]这地方的一家人那里寄来的，但我不认识这家人。显然是有人想寄东西给他朋友一家，可把名字和地址搞错了，因此我想我还是把事情搞清楚的好。我打电话给“西联公司”，得到了那个寄东西的一家人的电话号码，然后给他们打电话。

“喂，我叫费曼先生。我收到了个包裹……”

“啊，哈喽，费曼先生，我是皮特·帕米里奥（Pete Pamilio）。”他说得亲亲热热，我都认为我应该知道他是谁！我通常就是这么个傻瓜，记不住人。

于是我说：“我很抱歉，帕米里奥先生，我记不大准你是哪位了……”

原来他是一家出版社的代表，我呢，替课程编制委员会评估他们的书。

“我明白了。但这可能会引起误解。”

“只是咱们两家子之间的来往嘛。”

“是的，可我眼下正在评估你们出的书，或许有人会胡乱解释你的好意！”我已经知道那是什么事儿了，但我故意装疯卖傻。

与此类似的另一件事儿，是一家出版社寄给我一个真皮的公文包，还把我的名字用金字漂漂亮亮地烫在上边。我对他们说了同样的话：“我不能收；我在评估你们出的一些书。我觉得你不了解这事儿！”

有个委员，做的时间最长，说：“我从来没收东西；那让我心神不宁。可一直有人送东西。”

但我真的错过一次机会。假如我脑子转得快，那我在那个委员会里的时候，真可以花天酒地。我晚上住在旧金山一家旅馆，等第二天好参加我的第一次会议，我想在城里溜达溜达，吃点儿东西。我从电梯里出来，坐在旅馆大厅里的两个家伙，跳起来，说：“晚上好，费曼先生。您这是上哪儿去啊？洛杉矶这地方，有没有什么东西，我们带您去瞧瞧？”他们是一家出版公司的人，我不想和他们搀和事儿。

“我出去吃点儿饭。”

“我们可以带您去用晚餐。”

“别，我想一个人。”

“呃，无论您想怎么办，我们都帮得上忙。”

简直盛情难却了，我就说：“那好，我想出去找麻烦。”

“我们认为，那个我们也能帮得上忙。”

“不，我想我可以照顾自己。”我接着就想，“错了！我应该让一切运作起来，记个日记，那样加利福尼亚州的人，就可以发现出版社办事儿有多过分！”等我发现出入竟然有200万美元的时候，老天爷知道那好

处有多大！

诺贝尔的另一个错误

在加拿大，他们有一个很大的物理学学生协会。他们主办会议；他们发表论文，等等。有一次，温哥华分会要我去给他们讲话。主事儿的女孩儿和我的秘书早就筹划好了，不跟我打声招呼，就径直飞到洛杉矶。她就那么大摇大摆地进了我的办公室。她伶俐可爱，一个金发碧眼的妞儿。（这有作用的；不该这样，但这就是有作用。）这事儿的经费全是温哥华的学生出的，这给我留下了印象。在温哥华他们对我太好了，现在我知道了怎么接受人家的招待、怎么讲话的秘密了：等学生来请你。

有一次，我获得诺贝尔奖之后不几年，加利福尼亚大学欧文分校学生物理俱乐部的几个孩子，到我这儿来，想让我去讲话。我说："我喜欢去干这个事儿。我想做的，是只想跟物理学俱乐部的人说话。但——不客气地说——我从经验中得知，有麻烦的。"

我告诉他们，以前每年我都到当地的一个高中去跟物理学俱乐部讲相对论，或者讲任何他们让我讲的东西。接着，等我得了诺贝尔奖之后，我还去那儿，跟以前一样，没做准备，他们呢，把我树在三百个孩子面前。

那可叫一个乱啊。

这种让我害怕的事儿，大约有三四次，我成了个白痴，一时不知道怎么办了。那次我应邀到伯克利大学去讲物理学的什么东西，我准备了一些非常专业的东西，指望像往常那样讲给物理系的人听。可等我到了那儿，是个巨大的大教室，人满为患！我知道，在伯克利大学，能明白

我准备的这个水平的东西，人数没这么多。我的麻烦是，我喜欢取悦于来听我说话的这些人，如果每个人连他的哥哥都来听我说话，我取悦不了他们了：我就不了解我的听众了。

等这些学生理解了我不容易到这个地方给物理俱乐部讲话之后，我说："让咱们杜撰一个听起来傻头傻脑的题目，再杜撰一个听起来傻头傻脑的教授的名字，那样的话，就只有真对物理学感兴趣的孩子们会不怕麻烦来听讲，那才是我们要的人，好不好？你们不必满世界张扬。"

有几张海报出现在欧文分校的校园里：来自华盛顿大学的亨利·沃伦教授，将于5月17日3点在D102室宣讲质子的结构。

然后，我就来了，说："沃伦教授有点儿私人的麻烦事儿，今天不能来给诸位讲话了。他就打电话给我，能不能来给你们讲讲这个题目，因为我一直就在这个领域里做研究。因此呢，我就来了。"这办法，高。

但是后来，也不知怎么搞的，俱乐部的指导老师发现了这个诡计，对学生们好一个生气。他说："你们知道，如果大家知道费曼教授要下来，许多人都会来听他讲话的。"

学生们解释说："就是因为这个嘛！"可这位指导老师气急败坏了，因为炮制这个玩笑，竟然没有他的份儿。

听到学生们真有麻烦了，我决定给那个指导老师写封信，说明那都是我的错儿，说除非这么安排，我就不去讲话，说我已经告诉学生不要告诉任何人；我非常抱歉；请原谅我，啰里啰唆，啰里啰唆……因为那个鬼奖金，我不得不搞这一套！

就在去年，阿拉斯加大学费尔班克斯分校的学生请我去讲话，这次很好，除了当地电视台的采访之外。我不需要接受采访；采访没意义。

我是来给学物理的学生讲话的，就这么回事儿。如果满城的人都想知道那个，那就让学校的报纸告诉他们得了。正是因为诺贝尔奖，我才不得不接受采访——我是个大腕儿，对吧？

我的一个朋友，有钱——他发明了一种简单的数字开关——给我讲了一些捐钱设奖或设讲座的人的事儿："对他们，你要时时留心，看看他们做过什么见不得人的事儿，需要用这个来安慰良心。"

我的朋友马特·桑德斯（Matt Sands）一度想写一本书，叫《艾尔弗雷德·诺贝尔的另一个错误》。

许多年，到诺贝尔奖快颁发的时候，我也会看看是谁得了奖。但过了一阵子，我连诺贝尔"季节"是什么时候，都想不起来了。因此，为什么有人在凌晨三点半或者四点给我打电话，我是一点都不明白了。"费曼教授？"

"嗨！凌晨这个点儿，你给我打的哪门子电话！"

"我原以为您愿意知道您已经获得了诺贝尔奖。"

"是的，但我在睡觉！要是你在上午给我打电话，就好了。"——我把电话挂了。

我妻子说："什么事儿啊？"

"他们告诉我，我得了诺贝尔奖。"

"哦，费曼，是谁？"我经常说话没正经，她也聪明得很，从来不上当，但这次，我逮着她了。

电话又响了："费曼教授，您听到……"

（无可奈何的声音）“听到。”

然后我开始想：“我怎么能就此打住？我一点儿也不想要这个！”因此，头一件事儿，是把电话从叉簧上拿下来，因为电话一个接一个地打来。我想再去睡觉，但我发现睡不成了。

我下楼到书房去想这事儿。我怎么办？或许我不要接受这个奖。那会出什么事儿？或许那做不到的。

我把电话放回去，电话立刻响起。那是《时代》周刊的一个家伙。我对他说：“听着，我有了个麻烦，因此你别记录我下面的话。我不知道怎么摆脱这个事儿。有办法不接受这个奖吗？”

他说：“您恐怕拿这事儿没办法，先生，您不如将就着得了，免得弄出更多无谓的乱事儿。”事儿明白了。我们谈了不少，15～20分钟的样子，《时代》周刊的这个家伙从来也没发表这次谈话的任何东西。

我对《时代》周刊的这个家伙说，非常感谢你，就挂了电话。电话立即响了：报社打的。

“是的，您可以到报社来。是的，好的。对，对，对……”

其中一个电话，是瑞典领事馆的一个家伙打的。他将要到洛杉矶举行个招待会。我琢磨着，因为我决定接受这个奖，我就必得忍受这些事儿了。

这位领事说：“拟一个名单，是您想请的人，我们也拟一个名单，是我们想请的人。然后呢，我会到您办公室，我们比较一下两个名单，看有没有重复的，然后我们就写请柬……”

我就写了我的名单。大约八个人——我的街坊，我的艺术家朋友左

提安，等等。

领事拿着他的名单到了我办公室：加利福尼亚州长，这个大员，那个大腕儿；石油大王格蒂[69]；某个女演员——有三百人啊！不需要说，怎么也不可能有重复现象！

我就有点儿不安了。跟这么多达官贵人见面，这主意，吓坏我了。

领事看出我忧心忡忡。“啊，别担心，”他说，“大多数人不来。”

可好了，我不曾安排个聚会，邀请人家来，又明明知道人家不来！我不必向任何人磕头颠蒜，给他们那种可以拒绝的邀请，让他们有沾沾自喜的机会；这很蠢嘛！等我回家的时候，我真的为这整个的事儿坐立不安了。我给领事打回电话，说：“我仔细想过，我意识到我没办法去应付这个招待会。”他乐了。他说：“您太对了。”我以为他也跟我一样——为这个抽风的事儿，不得不搞这么个聚会，那还不跟犯了痔疮似的难受。事儿到最后，皆大欢喜。没人想来，连贵客也不来！主人也乐得轻松！

在那一段时间，我总有某种心理上的困难。你知道，我是我那位一贯睥睨王室和排场的父亲养大成人的（他干的是制服的买卖，因此他知道一个穿上制服的人和一个脱了制服的人之间的区别——是同一个人）。我实际上是学会了一辈子挖苦这类事儿，这种脾性如此强烈，深入骨髓，不带着点勉强，我都走不到一个国王的跟前去。这很孩子气，我知道，但我就是那么个教养，所以这是个问题。

人家告诉我，瑞典那儿有个规矩，在你接受了这个奖之后，你得倒退着离开国王，不可转身。你走下若干级台阶，受了奖，然后走回台阶上面。因此，我对自己说：“那好，等我去修理他们！”——我练习起了跳着上台阶，倒退着跳，表明他们的习俗有多么可笑。我这情绪太可怕

了！那既蠢且傻，当然是。我发现那不再是个规矩了，你可以转身离开国王，你像个正常人类那样走路，朝你打算去的那个方向，把鼻子摆到前头。

我高兴地发现，并非全部的瑞典人，都像你认为的那样，把王室典礼当回事儿。等你到了那儿，你发现他们站在你这边儿。比方说，学生们为每一个诺贝尔奖得主举行特别的"青蛙授勋"典礼。在你得到这个小青蛙的时候，你必须学青蛙叫。

我在年轻的时候，反文化，但我父亲有些好书。有一本书，里头有古希腊的剧本《青蛙》，有一次，我在这个剧里瞥见了青蛙的叫声，字儿是这么写的："brek, kek, kek"。我想："没什么青蛙弄出那种动静；那样来描写青蛙叫声，是发疯！"于是我就自己试着那样叫，在练习了一阵子之后，我发现那确确实实就是青蛙的叫声。

因此，我偶尔一瞥阿里斯托芬的书，到后来证明是有用的：在学生的诺贝尔奖得主的典礼上。我学青蛙叫学得很出色！倒退着跳，也派上了用处。因此，我喜欢典礼的这一部分；那个典礼进行得很好。

在得到了许多乐子的同时，我自始至终确实仍然有这种心理上的困难。我最大的麻烦，是在国王晚宴上不得不发表的"感谢您"演讲。当他们给你那个奖的时候，他们也给几本装帧得很漂亮的书，写的是前些年的事儿，你得到了以前写的全部的"感谢您"演讲，好像那是什么了不得的事儿似的。因此，你就开始认为你在这种"感谢您"演讲中说的话，是具有某种重要性的，因为它是要出版的呀。我没有意识到的，是难得有什么人会仔细听这种演讲，而且没有什么人会去读它！我已经方寸大乱：我不可能说个非常感谢你就拉倒啊，叽里呱啦，叽里呱啦；说个感谢的话，不是很容易嘛，但不容易啊，我说话得实在。可事实是，我真的不想要这个奖，因此，当我不想要的时候，这谢谢你，我怎么说得出口啊？

我妻子说，我是个神经过敏的废物，竟然为演讲里说什么话慌里慌张，但我最后琢磨出一个办法，来搞出一个听起来完全令人满意却又是完全诚实的演讲。那些听过这个演讲的人，可一点儿也不知道，这家伙在准备它的时候，都受了什么苦。

我开始的时候，是这么说的：在发现了我所做的事情时的那种欢乐当中，在别人运用我的研究工作这一事实当中，在什么什么当中，我已经得到了我的奖赏。我尽力解释了我已经得到了我期望得到的一切，与此相比，别的都无关紧要。我已经得到了我的奖赏。

但是，我接着说，突然之间，我收到了一大堆信——在演讲里，这个事儿说得比较好——这让我想起了我认识的所有的人：那些信，有的来自童年玩伴儿，当他们读早报的时候，跳了起来，叫着："我认识他！他就是那个和我们一块儿玩的小孩儿！"等等；像那样的信，特别鼓舞人心，表达的是我理解为某种爱的东西。为了那个，我感谢他们。

演讲进行得顺利，但和王室打交道，我总是觉得有点儿难。在国王晚宴上，我挨着一个公主坐着，她在美国上过大学。我想当然地认为，她跟我的态度一样，但我想错了。我认为她只是个孩子，跟别人一样。我评论国王和王室全家不得不忍受这么长时间，在吃饭之前还得跟招待会上的全部客人握手。"在美国，"我说，"我们能把这事儿搞得更有效率。我们会设计一个握手的机器。"

"是的，但在此地，这机器或许不会有太大的市场，"她不甚自在地说，"皇室的人没那么多。"

"恰恰相反，市场会是很大的。首先，只有国王有这样的机器，我们会为他免费提供。接着呢，当然，别人也想要一个机器。现在，这问题变成这样：谁能被允许拥有一台机器？总理得到许可，可以买一台；然后参议院议长得到许可，可以买一台，然后是最重要的老资格议员。

因此，一个很大的、不断扩展着的市场，是存在的，而且很快，你也不必去和一长串等着召见的机器握手了；你把你的机器派去就成！”

我也坐在那位负责组织这个晚宴的夫人旁边。一个女服务员过来，往我的酒杯里倒酒，我说：“不，谢谢你，我不喝。”

这位夫人说：“不，不。让她斟酒。”

“可我不喝的啊。”

她说：“没关系。您看，她有两个瓶子。我们知道八十八号不饮酒。”（八十八号在我的椅子背上。）“看起来完全一样，但有一种不含酒精。”

“但你是怎么知道的？”我叫起来。

她微微一笑。“现在看看皇上，”她说，“他也不饮酒。”

她告诉了我一些他们在特别的一年遇到的麻烦事儿。其中有一件，是俄国大使该坐哪儿？像在这样的宴会上，麻烦总是谁坐得离国王近些。诺贝尔奖得主，通常比外交使团，坐得离国王近些。外交官的座次，决定于他们在瑞典任职的时间长短。在当时，美国大使比俄国大使在瑞典待的时间长。但在那一年，诺贝尔文学奖得主是肖洛霍夫[70]先生，一个俄国人，而俄国大使想为肖洛霍夫先生当翻译——因此就坐在他旁边，因此，问题是如何让俄国大使坐得离国王近些，又不至于得罪美国大使以及其他外交使团。

她说：“在我得到许可把这位大使安排坐在肖洛霍夫先生旁边之前，您可不知道他们这一通闹腾——信件来往如梭，电话铃声不断，等等。最后，大家同意，那位大使，在那天晚上，将不是苏联大使馆的官方代表；他倒成了肖洛霍夫先生唯一的翻译。

晚宴之后，我们离座到了另外一个房间，大家在里面三五成群地谈着。有一个丹麦什么公主，不少人和她围坐在一张桌子上，我看到他们这桌子有一张空椅子，就坐了下去。

她转朝我说："哦！您是诺贝尔奖得主之一。您在什么领域工作？"

"物理。"我说。

"噢。呃，没人知道那个，因此我猜我们没法子谈那个。"

"恰恰相反，"我回答，"正是因为有人还知道点儿物理，我们才没法子谈物理。没人知道的那种事儿，我们才可以讨论。我们可以谈天气，我们可以谈谈社会问题；我们可以谈谈心理学；我们可以谈谈国际金融——可是黄金买卖，我们谈不得，因为这个事儿，人人都明白——因此，没有人知道任何东西的那种题目，才是我们可以谈的！"

我不知道那些人是怎么办到的。有一种方法，是在脸的表面上结冰，她就能够做到一脸冰霜！她转过脸，跟别人谈去了。

过了一阵子，我看得出来，我完全从谈话中给割了出去，于是我就站起来，要走开。日本大使，也坐在这桌子旁，跳起来，跟着我。"费曼教授，"他说，"我愿意告诉您一点儿外交上的事儿。"

他讲了一个好长的故事，说的是一个日本的年轻人，去上大学，研究国际关系，因为他以为自己能够为他的国家做出贡献。作为一个大二的学生，他开始对自己所学的东西，有一种由怀疑带来的隐痛。大学毕业后，他在一个大使馆得到了他的第一个职位，直到他意识到，没有人懂得国际关系的任何事儿。到了这份儿上，他就能够做大使了！"因此，费曼先生，"他说，"下次您再举例说明那些人人都在谈没人知道的事情的时候，请把国际关系包括进去！"

他这人很有意思，我们就谈开了。我一直对不同的国家和不同的人民，何以会有不同的发展这一问题感兴趣。我告诉这位大使，有一件事，在我看来，一直是值得注意的现象：日本是如何把自己迅速发展为一个在世界上如此现代而重要的国家的。“日本人民的什么方面和性格，才使日本有可能办成此事？”我问。

日本大使回答的方式，我喜欢听：“我不知道。”他说，“我倒可以假定某种原因，但我不知道是不是对。日本人相信他们只有一条前进的道路：让他们的孩子比自己受到更多的教育；使他们抛开农夫的境地，而成为有教养的人，教育是很重要的。因此，在家庭里，大家下了大力气，来鼓励孩子们在学校里学习好，有出息。因为这种不断学习的趋势，外来思想可以非常容易地播撒到整个教育体系之中。或许那就是日本为什么发展得如此迅速的原因。”

总而言之，我必须说，瑞典之行最终是令人愉快的。我没有立刻回家，却去了在瑞士的“欧洲粒子物理研究所”（CERN），去讲话。我出现在我的同事们面前的时候，穿的是那身出席国王晚宴时穿的西服——我以前从来没有穿着西服讲话。我是这么开讲的，“事儿很可笑，你们都知道；在瑞典，我们坐在那儿讨论，得了诺贝尔奖之后，会不会有什么变化，实际上，我已经看到了一个变化：我还挺喜欢这身西服。”

人人都说“啊呸！”。维斯科普夫（Weisskopf）跳起来，甩掉他的外套说：“在讲座上，别穿西服了！”

我把我的外套脱了，松了松领带，说：“我在瑞典过了这一阵子之后，我开始喜欢这玩意儿了。可是，现在，我回到了世上，一切事情又都顺了。谢谢各位把我弄妥帖了！”他们不想让我变。因此事儿搞得很快：在CERN，他们把我在瑞典经历的事儿都消除一空了。

我得了钱，这不错——我买得起一所在海边的房子——但总的来

说，我认为，不得奖金，好得多。——因为你再也不可能在公共场合率性而发了。

从某种意义上说，诺贝尔奖，从来都是一件恼人之事，尽管我起码有一段时间为此扬扬自得。我获得诺贝尔奖之后不久，格温妮丝和我收到了巴西政府的邀请，作为荣誉贵宾，参加里约的狂欢节庆典。我们欣然接受，玩儿得很开心。我们跳舞跳得不亦乐乎，看桑巴学校在盛大的游行中，演奏他们那种奇妙的节奏和音乐。报纸和杂志的摄影师不停地拍照片——“看哪，美国来的教授和巴西小姐跳舞哪。”

身为“名流”是一乐子啊，但把我们当名流，显然是错了。那一年，没人对荣誉贵宾大惊小怪的。我后来才发现，给我们的邀请是怎么弄出来的。本该当荣誉贵宾的，是吉娜·罗洛布丽吉达（Gina Lollobrigida）[71]；可就在狂欢节之前，她说不。负责组织狂欢节的旅游部长，在“物理研究中心”有些朋友，他们知道我以前在桑巴乐队里玩儿过，又因为我最近得了诺贝尔奖，这个事儿新闻上就有。在部长六神无主之际，他的朋友们就出了个馊主意：用物理学教授，代替吉娜·罗洛布丽吉达！

不用说，这位部长把狂欢节的工作搞得这么糟糕，后来丢了乌纱帽。

把文化带给物理学家

尼娜·拜尔（Nina Byers），加利福尼亚大学洛杉矶分校的一个教授，在20世纪70年代早期的时候，负责物理讲座的事情。讲座通常是这么一个地方，从别的大学来的物理学家，到这儿来谈纯专业的东西。部分地是由于那年代特有的气氛，她认为物理学家需要更多的文化，因此她就想安排一些文化的东西：因为洛杉矶离墨西哥近，她就想搞一个讲

座，要讲玛雅人的数学和天文学。玛雅是墨西哥的古老文明。

（得记住我对文化的态度：那种事情，要是在我的大学里，会把我逼疯！）

她开始物色一个教授来讲这个题目，可在加州大学洛杉矶分校，她找不到一个堪为专家的人。她给好几个地方打电话，还是找不到什么人。

然后她记起了奥托·纽治保尔（Otto Neugebauer）教授，他是布朗大学的，巴比伦数学方面的大家。[72]她给在罗得岛的他打电话，问他知不知道西海岸这儿有没有什么人，能讲讲玛雅人的数学和天文学。

“有的，”他说，“我知道有。他不是个专业的人类学家或者历史学家，他是个业余的。但他肯定知道得不少。他的名字叫理查德·费曼。”

她几乎要死过去！她努力要为物理学家们带来点儿文化，而唯一的办法，却是让一个物理学家来办这事儿！

我知道点儿玛雅数学，原因是在我和我的第二个妻子玛丽·娄在墨西哥度蜜月的时候，我精疲力竭了。她对艺术史，特别是墨西哥的艺术史，兴趣极大。于是，我们就到墨西哥度蜜月，在金字塔上爬上爬下；她到哪儿去，都让我陪着。她让我看许多有意思的东西，比方说，各种各样的形象设计之间的关系，但在炎热潮湿的丛林中这么爬上爬下了几天（和几晚上）之后，我精疲力竭了。

在危地马拉不知什么地方的一个小镇子里，我们走进了一个博物馆，里面展柜里有一份满是奇怪符号、图画和杠杠、点点的手稿。那是一份复制品[一个叫维拉科特（Villacorta）的人制作的]，原本是德累斯顿古本，在德累斯顿的一家博物馆里发现的一份玛雅人写的书。我小的时候，我爸爸曾经带我去看纽约世界博览会，在那儿他们复制了一个玛

雅神庙。我记得他告诉我，玛雅人发明了零这个数，还做了许多有意思的事儿。

那个博物馆卖这个古本的复制品，我买了一份。在每一页书上，左边是古本拷贝，右边是介绍，以及部分的西班牙语译文。

我喜欢解难题和解密码，因此在看到那些杠杠和点点的时候，我想："我这可有的玩儿了！"我用一页黄纸遮住西班牙语译文，开始坐在旅馆房间里，玩儿这种破译玛雅杠杠和点点的游戏，我妻子却整天去金字塔爬上爬下。

我很快琢磨出，一个杠等于五个点，表示零的，又是什么符号，等等。又过了不多一会儿，我琢磨出那些杠杠和点点，在第一次总是到二十就进位，可到第二次，逢十八进位（造成360的循环）。我还搞清楚了和各种各样的面具有关系的一些事儿：它们确实代表某些日子和星期。

我们回家之后，我继续搞这个东西。试着破译那种东西，整个太好玩儿了，因为你开始的时候，什么也不知道——你没有从哪儿开始的线索。但是，你接着就注意到某些数经常出现，这些数又加在别的数上，等等。

在古本上有个地方，584这个数非常显眼。584这个数被分为236、90、250和8这几个段。另外一个显眼的数是2920，或者584i 5（365i 8也是一样）。还有一个乘法表，是2920的倍数，一直到13i 2920，接下来有一阵子是许多13i 2920的倍数，然后——是一些滑稽的数！我当时以为那些数是错了。只是在许多年后，我才琢磨出那些滑稽数是怎么回事儿。

因为表示日子的一些数字和584是有关系的，可584又分为这么奇怪

的另外几个数字，我就想，如果那不是某种神秘的周期之类的东西的话，那或许是天文学上的什么东西。最后，我去图书馆查了天文学的书，我发现，从地球上看，583.92天是金星的周期。那么，236、90、250和8就明显起来：那一定是金星经过的几个相位。它在早晨出现的时候，我们看不见它（它在太阳的那一边）；然后，它又在晚上出现，最后又消失了（它在地球和太阳之间）。90和8之所以不同，是因为与金星走到地球和太阳之间的时候相比，当它在太阳那一边的时候，它在天上运行得比较慢些。239和250之差，或许表示玛雅土地东方和西方地平线之间的差别。

我还发现了另外一个表，上面的周期是11959天。这原来是一个预测日食的表。还有一个表，上面有降序排列的91的一些倍数。我从来没能把这个表弄明白（别人也没弄明白）。

等我把我能搞明白的都搞明白了之后，我最后决定看看那些西班牙语的注解，看看我搞明白了多少。西班牙语的注解完全是胡说八道。这个符号是土星，那个符号是神——简直是狗屁不通。因此，我也用不着把注解遮着盖着了；反正我从那里头什么东西也学不到。

此后，我开始读了不少关于玛雅人的东西，发现研究这东西的大腕儿是埃里克·汤普逊（Eric Thompson），我至今还保存着他的几本书。

等尼娜·拜尔给我打电话的时候，我才发现我已经把德累斯顿古本的复制品弄丢了。[我把它借给了罗伯逊（H.E.Robertson）夫人，她在巴黎的一个古董商的一个旧箱子里发现了一本玛雅古本。她把这东西带到了帕萨迪纳给我看——我仍然记得我开车回家的时候，把这东西放在汽车前座上，心里想："我可得小心驾驶：我得到了一个新古本。"——但是，等我仔细看这东西的时候，我一眼就看出它完全是个冒牌货。我稍做研究，就发现这个新古本的每一幅图，都是从德累斯顿古本那里扒来的。于是，我就把我的书借给她，让她看看什么叫真货，我最后把书

忘在她那儿了。]因此，加利福尼亚大学洛杉矶分校的图书馆员，费了好大劲，才找到了一份维拉科特制作的德累斯顿古本的复制品，把它借给了我。

我又重新把计算搞了一遍，实际上我比上次又有了一点发现：我琢磨出那些“滑稽的数”，实际上是接近于正确周期（583.923）的什么数的整数倍，而我以前以为那些数是错误的——玛雅人已经意识到584不怎么对劲！[73]

加利福尼亚大学洛杉矶分校讲座之后，拜尔教授送给我一些彩色的德累斯顿古本的复制品。几个月后，加州理工学院希望我给帕萨迪纳的公众上同样的课。罗伯特·罗文（Robert Rowan），一个房地产商，借给了我一些非常有价值的玛雅神石刻像和陶俑，好在加州理工学院上课用。把那种东西带出墨西哥，多半是非常违法的。那些东西价值太高，我们雇了保镖善加保护。

在加州理工学院讲课的前几天，《纽约时报》大肆炒作，报道说，一个新古本已经被发现。当时，已知存世的古本只有三份（其余两个，很难弄明白）——成千上万的古本，都被西班牙牧师当作“魔鬼之书”付之一炬。我有个堂姐妹在美联社工作，为我搞到了一张《纽约时报》发表的新古本的一张照片，我把它做成幻灯片，也用在我的讲座中。

这个新古本，是个冒牌货。我在讲座中指出，其中的数字，在书法风格上，类似于马德里古本，但确实是236、90、250和8——这也巧合得离奇了！在成千上万的原书当中，我们又得到了另外一个片断，上面的东西却跟原来那个片断上的东西一模一样！很明显，又是那样，拼凑起来的破玩意儿，没有一点儿真东西。

那些制造赝品的家伙，从来没有胆量捏造某种真正不同的东西。如果你发现了某种确实是新的东西，它必得有点儿不同的东西。真能骗人

的东西，应该打火星周期这种东西的主意，炮制一个神话，与之相辅相成，然后再画些和这个神话有关的图案，图案上有些正对火星合适的数字——不能搞得太明显；最好是弄一些周期倍数表，其中还得有一些神秘的“错误”，等等。数字需要花点儿力气才能搞出来。这样，大家就会说：“嚯！这玩意儿和火星有关系！”除此之外，里头还得有不少东西，没办法理解，跟以前看到的东西不完全一样。那样才能制造一个好的冒牌货。

我从“破解玛雅象形文字”的讲座中，得到好大的快乐。我又一次越俎代庖。大家鱼贯而入讲座大厅的时候，顺便浏览三个玻璃展柜，穿制服的武装保安看着呢，大家对德累斯顿古本彩色复制品和真正的玛雅古物啧啧称奇。他们听这个领域的一个业余爱好者讲玛雅人的数学和天文学，一听就是两小时（这个家伙甚至告诉他们怎么甄别伪造的古本），听完了，他们出去了，又欣赏玻璃展柜。接下来的几个星期，默里·盖尔曼讲了六次系列讲座，讲的是世界上所有语言之间的语言学关系，讲得天花乱坠。

巴黎见分晓

我讲了一个物理学的系列讲座，艾迪生-韦斯利出版公司（Addison-Wesley Company）把它搞成了一本书。有一次，吃午饭的时候，我们讨论书的封面应该弄成什么样子。我认为，因为那个讲座是真实世界和数学之间的联系，那么弄一个鼓的图画儿，在鼓的上面再弄一些数学图形——圆圈儿、直线什么的，表示从震动的鼓膜上飞出的鼓点儿，书里讨论过鼓点儿，这或许是个好主意。

书出来的时候，封面是简单的红色，但不知什么原因，在前言那儿，有一幅我打鼓的照片。我认为，他们把那照片放那儿，是为了满足

他们的一个想头："作者本人希望书里什么地方有面鼓嘛。"无论如何，人人都会迷惑不解：为什么那幅我打鼓的照片出现在"费曼讲座"的前言里，因为这照片里没有什么数学图形，也没有别的点题的东西。（我喜欢打鼓，这不假，但那是另一档子事儿。）

在洛斯阿拉莫斯，工作压力很大，没什么法子自我娱乐；没电影什么的。但我在那个以前是男子中学的地方，发现了几个鼓，于是善而藏之。洛斯阿拉莫斯在新墨西哥州的中部，那儿有许多印第安人的村子。因此，我就自己找乐子——有的时候是我一个人，有的时候和别的家伙——只是想闹点儿动静出来，打那些鼓。我不知道什么特别的节奏，但是印第安人的鼓点儿相当简单，鼓却不错，我玩得挺高兴。

有的时候，我带着几个鼓，到远处的树林子里，免得烦扰别人。

我就用一根棍子，边打边唱。我记得，有个晚上，绕着一棵树转圈儿，一边打鼓，一边仰望月亮，假装自己是个印第安人。

有一天，一个家伙来对我说："感恩节前后，你没去树林子打鼓，是吧？"

"去了，是我打的，"

"噢！这么说，我老婆说对了！"接着他给我讲了这么个故事：

一天晚上，他听到远处有鼓乐之声，就到了楼上去找另一个家伙，那个家伙也听到了。你该记得，这些家伙都是从西边来的。他们对印第安人什么也不知道，可是兴趣不小：印第安人一定在举行什么仪式，或者在做什么高兴的事儿，这两个主儿就决定过去看个究竟。

他们往前走的时候，走得越近，鼓声就越大，他们开始紧张了。他们想起印第安人多半在外围安排了放哨的，免得别人惊扰他们的仪式。

于是他们匍匐在地，循迹前往，直到声音显然就在下一个山头的后面。他们爬到山顶，不看不知道，一看吓一跳：只有一个印第安人，自顾自地在那儿举行仪式——绕着树跳舞，还用棍子打鼓，还唱着颂神之歌。两个家伙悄悄地屈身而退，因为他们不想惊动他：他多半是在发某种咒语什么的。

他们把这事儿告诉了老婆，老婆们说："哈，一定是费曼——他喜欢打鼓。"

"别胡扯了！"两个男人说，"即使是费曼，也不会疯到那个份儿上！"

因此下个星期，他们就着手把谁是那个印第安人这事儿弄清楚。附近的印第安保留地的几个印第安人，在洛斯阿拉莫斯工作，于是他们就问一个在技术区当技师的印第安人，那能是谁啊。这个印第安人问了一圈儿，但别的印第安人都不知道那可能是谁，但有个印第安人是例外，没人能跟他讲话。他是个了解自己民族的印第安人：他背后有两条大辫子，头高高地昂起；无论什么时候他走到哪儿，都是高视阔步，器宇轩昂，独自一人；没人可以和他说话。走到他跟前去问点儿事儿，你会害怕的；他太威严了。他是个炙手可热的人物。没人有胆量去跟这位印第安人打听事儿，他们断定树林子里的那位，必定是他了。（得知他们找到了这么一位典型的印第安人，这么一位魅力十足的印第安人，一位我可能是他的印第安人，我很高兴。被人错认成他，太光荣了。）

那个问过我的伙计，心有不甘——丈夫总是乐于证明妻子不对——正如丈夫经常发现的那样，他发现他老婆说得相当对啊。

我鼓打得相当好了，有聚会的时候，我就打。我不知道自己在干什么；我只是打出点儿节奏——结果我打鼓打出了名声：在洛斯阿拉莫斯这地方，人人都知道我喜欢打鼓。

等战争结束，我们重返“文明”世界，在洛斯阿拉莫斯那儿的人，跟我逗乐儿说，我再也不会打鼓了，因为鼓的动静也太聒人了。还因为我想在伊萨卡的康奈尔大学那儿当个体面的教授，指不定在什么时候，我会把我待在洛斯阿拉莫斯时候买的鼓卖掉。

第二年夏天，我回到了新墨西哥州，去写报告，等我又看到了那些鼓的时候，我就技痒难耐了。我又买了个鼓，心里想：“这次我要把这鼓带回去，只是为了可以看看它。”

到康奈尔大学那年，我的那套小单元房是在一个大楼房里。我把鼓放在那儿，只是为了看看，但是，有一天，我确实忍不住了：我说：“也罢，我只是得小声点儿敲……”

我在一把椅子上坐下，把鼓夹在两腿之间，用手指头轻轻敲击：叭叭叭、叭嘟叭。然后，声音稍微大了一点儿——这也够诱惑我的了！我再大点儿声音，梆！——电话响了。

“哈喽？”

“俺是你的房东啊。是你在下面打鼓吗？”

“是；非常对不……”

“这也太好听了啊。俺能下去凑近点儿听听吗？”

从那次以后，我一打鼓，我的女房东就下楼来听。这样就无所顾忌了。从此以后，我有得玩儿了，打鼓。

大约是在那个时候，我认识了一个从比属刚果来的女士，她给了我几张为做人种学研究用的唱片。在那年头，那种唱片稀奇，上头是非洲牧牛人和其他部落的鼓乐。我真的非常非常佩服牧牛人鼓手，我也经常

模仿他们——模仿得不十分像，但听起来像是那么个动静——我因此也搞出了不少节奏。

有一次，我在娱乐厅，深夜，没几个人，我拿了个垃圾桶，开始敲打桶底。楼底下的一个家伙跑上来，说：“嗨！你打鼓啊！”说来说去，他才是个真懂打鼓的，他教我怎么演奏古巴手鼓（Bongo）。

音乐系有个家伙，收藏了一些非洲音乐唱片，我就到他家里打鼓。他还为我录了音，后来在他的晚会上，他玩儿一个游戏，名叫“非洲还是伊萨卡？”他放一些鼓乐，然后让大家猜，你听到的那个音乐，是在非洲大陆上弄出来的，还是本地的土产。这就是说，我那时候，相当擅长模仿非洲音乐。

等我去了加州理工学院，我经常到落日带那地方去。有一次，那儿有一群鼓手，领头的是从尼日利亚来的一个大块头伙计，名叫尤卡努（Ukonu），在一个夜总会里奏的那个鼓乐，真叫妙——只有打击乐。那位副头，对我尤其好。邀请我上台和他们一起演奏点儿东西。于是我走到台上。和别的家伙们一起打了一阵子鼓。

我问副头，尤卡努可曾授课，他说，对。因此，我经常到尤卡努住处去，那地方离世纪大道（Century Boulevard）很近（那就是后来的瓦特骚乱[74]发生的地方），去听打鼓的课。课上得不太有效：他四处乱转，跟别人说话，各种各样的事情时不时地来打岔儿。但等他们工作的时候，大家都非常兴奋，我跟他学了不少。

尤卡努住处附近的舞会，白人没几个，但和今天相比，舞会悠闲得多。有一次，我们搞了个打鼓比赛，我打得不太好。他们说我鼓打得太“书生气”，他们的冲劲儿足得多。

有一天，那是加州理工学院，有人给我打电话，语气严肃。

“我是技校的校长特劳布律治（Trowbridge）先生。”这是个很小的私立技校，就在加州理工学院的斜对面。特劳布律治校长继续官腔十足地说：“我这儿有您的一位朋友，他想跟您说句话。”

“说吧。”

“哈喽，迪克！”是尤卡努啊！原来技校的校长，不像他把自己造作的那么官腔，他非常幽默。尤卡努到那个学校去为孩子们演奏，因此他请我过去，跟他同台演出。于是我们就一块儿为孩子们演奏了：我打古巴小鼓（放在我办公室的那个），来给他的大檀巴（tumba）鼓伴奏。

尤卡努定期做的一件事儿，是到许多学校谈非洲鼓，鼓点儿是什么意思，谈音乐。他性格很好，笑容如菊：他是个很好、很好的人。他鼓打得摄人魂魄——他出过唱片——却在这儿学医。在尼日利亚爆发了战争的时候——或许是在战争之前——他回国了，我不知道他怎么样了。

尤卡努离开之后，我鼓打得不多了，除了偶尔在晚会上打打，给大家助助兴而已。有一次，我在罗伯特·莱顿（Leighton）家做客吃饭，他儿子拉尔夫和一个朋友，问我想不想打鼓。想到他们这是要我唱独角戏，我说不想。但他们接着就在几个小木头桌子上敲开了鼓点儿，这我就忍不住了：我也拉来张桌子，我们三个在这些小木头桌子上演奏，弄出好些非常有意思的声音。

拉尔夫和他的朋友汤姆·鲁提少瑟（Tom Rutishauser）都喜欢打鼓，我们开始每周聚会，即兴演奏，琢磨节奏，弄点儿玩意儿。这两个家伙是真正的音乐家：拉尔夫弹钢琴，汤姆拉大提琴。我干的，是节奏，音乐我是一窍不通，在我看来，我打的节奏不过是不同音高的鼓点儿而已。但我们搞出了许多很好的节奏，还在几个学校演奏来逗孩子们开心。我们还在当地一个学院的舞蹈班演奏节奏——我在布鲁克林工作的那一阵子，也这么寻开心——我们自称“三夸克乐队”，因此你可以琢磨

出那是什么时候的事儿。

有一次我到温哥华给学生讲课，他们在地下室里举办了个晚会，一个真正火辣的摇滚风格的乐队在演奏。这个乐队蛮不错：他们有一副多余的颈铃放在那儿，他们怂恿我玩这个东西。我于是就玩了一会儿，因为他们的音乐节奏感太强（颈铃只是个陪衬——你不会把音乐搞乱），我还真玩得起劲了。

晚会结束后，组织晚会的那家伙告诉我，乐队长说："嚯！那个过来玩颈铃的家伙是谁啊！他还真能用那么个玩意儿弄出个节奏来！顺便问一句，这个晚会是为一个大人物开的——你知道，他压根儿没来，我还没看见他是谁呢！"

加州理工学院有个剧团。有些演员是学院的学生；另外一些是从外边来的。每当有个小角色，比方说，一个警察，要来逮捕一个人，他们就让一个教授来演。这总是个很有效果的玩笑——教授上台了，抓走个人，又下台了。

几年前，这个剧团正在演《男生和女生》（Guys and Dolls），有一场戏，是男主角把个女孩儿带到了哈瓦那，他们在一个夜总会里。导演认为，让我来演戏台上的这个夜总会里的一个邦戈鼓手，这个主意不赖。

第一次排练，我去了，正在导演的那个女士，指着乐队指挥说："杰克把乐谱拿给你看看。"

哎哟，我可傻眼了。我不会读乐谱；我还以为，我做的不过是到台子上弄出点动静而已。

杰克坐在钢琴跟前，他指了指乐谱，说："好了，你从这儿开始，你看，你弄这个。然后呢，我弹叶唧、叶唧、叶唧。"——他在钢琴上

弹了几个音符。他翻开这一页。“然后呢，你演奏这个，接着我们俩都停下来，让他们念台词儿，看到吧，就这儿。”——他又翻了几页，说：“最后，你演奏这个。”

他给我看的这种“音乐”，是某种发疯的小×，夹在竖线和横线之间。他一个劲儿跟我说这玩意儿，以为我是个音乐家呢；要我记住这个，完全不可能。

幸运的是，第二天我病了，不能参加下次排练了。我求我的朋友拉尔夫替我去，因为他是个音乐家，他该知道那都是什么玩意儿。拉尔夫回来说：“事情不是那么糟糕。首先，在开始的时候，你必须弄得准才行——因为是你为乐队其他人定节奏的，好让他们踩着点儿跟进来。但是，等乐队进来了，那就类似于即兴演奏了，再就是有的时候，我们得为台词停一停，但是，根据乐队指挥的手势，我觉得我们能琢磨出什么时候该停。”

可同时我已经让导演接受拉尔夫了，这么说，我们两个都得上台了。他打檀巴，我打手鼓——这使我觉得容易得太多了。

拉尔夫告诉我这个节奏是怎么个样子。那一定只敲二十或三十下，但不可多敲，也不可少敲。我从来也没像这样玩儿过，敲准了，还真不容易。拉尔夫耐着性子给我解释，“左手，再右手，再双手，然后右手……”我干得很卖力，最后，慢慢地，我开始能把节奏刚好敲得准。这花费了漫长的时间——好多天——才掌握了。

一个星期之后，我们去排练，发现了那儿有个新鼓手——一直在那儿的那个鼓手，干别的去了——我们向他做了自我介绍。

“嗨。在哈瓦那那场上台的，就是我们俩。”

“哦。嗨。让我在这儿找找那场……”他翻到那场戏在的那一页，摸

出鼓槌，说：“哦，这一场，是由你们起头儿的，这么弄……”他拿鼓槌敲鼓边儿，乒梆、梆啊梆、乒啊乒、梆梆，快得不能再快了，他眼还看着乐谱呢！没治了！我忙活了四天啊，才搞准了那个鬼节奏，他却信手就打起来！

无论怎么说，经过一遍又一遍的练习，我最后也打得准了，而且真在剧里打呢。演出非常成功：人人都喜欢看这位教授在台上打手鼓，音乐也不那么坏；但是，开头那部分，不能乱改的：真是难。

在哈瓦那夜总会那场戏里，几个学生必须按照舞蹈设计来跳某种舞。因此，导演找到了加州理工学院一家伙的妻子，那个时候，她在“环球电影厂”（Universal Studios）当编舞，来教小伙子们怎么跳。她喜欢我们的鼓乐。等戏演完了，她问我们愿不愿意为旧金山的一个芭蕾舞团打鼓。

“什么？”

是的。她即将到旧金山，为那儿的一个小芭蕾舞学校的一个芭蕾舞当编舞。她想创造这么一种芭蕾舞，音乐全是打击乐。她希望拉尔夫和我，在她启程之前，到她家一趟，去演奏一下我们知道的不同的节奏。根据我们打的节奏，她将编一个与节奏相配的故事。

拉尔夫有点儿担心，但我唆使他去冒这个险。然而，我强烈要求她不要告诉那儿的任何人，说我是物理学教授，诺贝尔奖的得主，或者什么其他的大腕儿。正如塞缪尔·约翰逊[75]所言，如果你看到一条狗用两条后腿走路，了不起的不是它走得多么好，而是它竟然那么个走法。我愿意打鼓，但我打鼓仅仅是打而已。如果大家把我当成个喜欢打打鼓的物理学教授，我就不喜欢了；我们就是她在洛斯阿拉莫斯找到的音乐家嘛，到这儿来演奏他们作的这个鼓乐。

于是我们就去了她家，演奏了我们编的好多种节奏。她做了记录，很快地，就在当天晚上，她脑袋里捏造出了个故事，说："得，这一段，我要求重复五十二次；那一段，四十小节长；还有这个、那个， ；这个、那个……"

我们回家了，第二天晚上在拉尔夫家里录了一盘磁带。我们花了几分钟，演奏了全部的节奏，然后拉尔夫用他的录音机剪剪接接，让每段长度合适。她动身的时候，带了一份我们的磁带，开始在旧金山训练她的舞蹈家们。

与此同时，我们不得不练习磁带上的那些东西：这一段，循环五十二次，那一段，循环四十次，等等。我们当时即兴演奏的东西（又经过剪辑），现在却不得不亦步亦趋地学会。我们不得不模仿我们自己的倒霉磁带！

节拍掐得准，是个大问题。我认为拉尔夫会知道怎么个弄法，因为他是个音乐家嘛，可我俩都发现这事儿滑稽。在我们的脑袋里，"演奏部门"也是管掐节拍的"说话部门"——我们不可能同时又演奏，又数节拍！

等我们到旧金山进行首次排练的时候，我们发现，看着舞蹈演员，我们就不必掐节拍了，因为舞蹈演员的动作是有章可循的。

因为人家把咱们当成了专业音乐家，而我不是，我们遭遇了许多事儿。比方说，有一场戏，说的是一个乞讨的妇女，在加勒比海的海滩上筛沙子，而那些上流社会的贵妇们就在那海滩上，她们在这个芭蕾舞剧一开始的时候就上场了。编舞用来创造这一场景的那个音乐，用的那个特别的鼓，是拉尔夫和他爸爸在好几年前以业余手法造的一个东西，我们怎么也不能让它弄出好听的声音来。但是，我们发现，如果我们坐着椅子面对面，把这个"神经错乱的鼓"夹在我们的膝盖中间，一个家伙

打，哔嗒、哔嗒、哔嗒、哔嗒、哔嗒，用手指快快地打，不停地打，另一个伙计，用两只手在不同的地方挤压这个鼓，它就会变调儿。它现在就弄出这种怪有意思的动静：卟嗒、卟嗒、卟嗒、哔嗒、呗嗒、呗嗒、呗嗒、哔嗒、卟嗒、卟嗒、卟嗒、吧嗒。

好了，演丐妇的那个舞蹈演员，希望音乐有起有伏，来应和她的舞蹈（我们的磁带上的鼓乐，和这场不搭界），于是她就进一步为我们解释她要怎么跳："首先，我这样做这四个动作；然后呢，我这样前倾，筛沙，筛八个数；然后呢，我站起来，再这么个转法。"孙子才跟得上这一大套，于是我打断她的话头。

"你只管去跳，我随着你演奏。"

"但你不想知道这个舞是怎么往下走的吗？你瞧，等我筛了第二下沙的时候，我就这么个样子来它八下。"这没用。我什么玩意儿也记不住，我又想打断她，但是接着就有这么个问题：我看起来不像个真正的音乐家啊！

很好，拉尔夫非常圆滑地给我打圆场，他解释说："对这种情况，费曼先生有独特的处理技巧：在他看着你跳的时候，他宁愿把这个舞蹈的动力学原则，直接地、直觉地，发展出来。让咱们像那样试一把，要是你不满意的话，我们可以再作修正。"

噢，她是个一流的舞蹈家，你可以预见她下面怎么个跳法。如果她要去挖沙，她会摆出个往沙里拱的架势；每一个动作，都是平滑的，都在你的预料之中，这我就非常容易用手弄出卟呲和卟啥啥和卟嗒嘶和哔嗒嘶这样的声音，和她正在弄的舞蹈动作，配合得天衣无缝，她对此很满意。我们就这么混过去了，差点儿露馅儿。

这个芭蕾舞，算是成功的。尽管观众不多，那些来看演出的人，非

常喜欢它。

在我们到旧金山排练和演出之前，我们对这整个主意，把握不大。我的意思是，这位编舞愚不可及：首先，这个芭蕾舞只有打击乐；其次，我们还没好到能为芭蕾舞作曲的地步，无功受禄，实在是疯了！就我而言，我从来没有什么“文化”，到头来却为一个芭蕾舞当起了职业音乐家，这是一个巨大的成就，就是嘛。

我们原以为她找不到愿意随着我们的鼓乐跳舞的芭蕾舞演员。（事实上，就有一位是来自巴西的大明星，葡萄牙领事夫人，认为她跳这个舞，掉价儿。）但其他的舞蹈家好像非常喜欢它，当我们在第一次排练中为她们伴奏的时候，我心甚慰。当她们听到我们的节奏真正是怎么个动静的时候（此前，她们一直用一个小卡式录音机来听我们的磁带罢了），她们所感到的那种愉悦，是发自心底的；当我看到她们对我们的现场演奏是怎么样反应的时候，我信心大增。从看演出的人们的评论来看，我们意识到，我们大功告成了。

这位编舞想在第二年开春，还用我们的鼓乐搞另外一个芭蕾舞，于是我们又重复了一遍这个程序。我们录了个磁带，节奏更多，她也捏造了另外一个故事，这一次，背景是在非洲。我和加州理工学院的芒格（Munger）教授谈过，学会了几个真正的非洲短语，好在开头儿时唱（噶哇—巴女吗—噶哇—喔，或者类似这么一种调子吧），我练习发音，练到还真像是那么回事儿。

后来，我们到了旧金山排练了几场。我们刚到的时候，发现她们有个麻烦。她们不知道怎么把象牙弄在台子上好看。她们用纸糊的象牙太难看；在这种象牙面前跳舞，几个舞蹈演员都觉得尴尬。

我们没提供什么解决方案，只是静观表演家们下星期来排练的时候，会有什么事儿。与此同时，我安排好了去访问维尔纳·埃哈德

（Werner Erhard）教授，我是在他主办的一个会上认识他的。我在他漂亮的家里坐着，听他给我解释什么哲学或者观念，突然之间，我一下子进入了催眠状态。

“你这是怎么了？”

我爆着眼珠子叫：“象牙！”就在他身后，在地板上，放着一些巨大、粗壮、漂亮的象牙！

他把象牙借给了我们。这些象牙，在戏台上漂亮极了（演员们松了一口气）：真正的象牙，超大的象牙，谢谢维尔纳·埃哈德的好意。

我们的编舞转移到了东海岸，在那儿上演他的加勒比芭蕾舞。我们后来听说，她用那个芭蕾舞参加全美国的编舞大赛，得了第一名或者第二名。受了这一次成功的鼓舞，她参加了另一次比赛，这次是在巴黎，是全世界的编舞大赛啊。她带去了我们在旧金山录制的一盘高质量录音带，在法国那儿训练几个舞蹈演员，来演出那个芭蕾舞的一个小片断——她就是那么进入大赛的。

她干得真不赖。她进入了最后一轮，剩下的只有两个团——拉脱维亚的一个团，用正统的舞蹈演员，跳标准的芭蕾舞，伴以漂亮的古典音乐；一个美国的团，独行其是，只用两个演员，是她在巴黎训练的，跳的那个芭蕾舞，除了鼓乐，没有别的。

观众最喜欢她，可是那个比赛，不看谁最受欢迎，评委们判拉脱维亚人获胜。她后来去找评委，想知道她的芭蕾舞，弱点何在。

“哦，夫人，音乐不太令人满意，不够细腻。渐强音控制欠佳……”

如此说来，我们起码可以发现：等我们来到那些真有文化的巴黎人面前的时候，他们懂得鼓乐，我们就不及格了。

另类状态

我曾经每星期三到休斯飞机公司（Hughes Aircra Company）去讲一堂课，有一天，我去得稍微早了些，就和那个接待小姐打情骂俏，像往常一样，偏偏这个时候来了六七个人——一个男的，一个女的，还有另外几个。我以前没见过这些人。男的说：“费曼教授是在这儿开讲座吗？”

“找对地方了。”接待小姐回答。

男的问，他这帮人能不能来听听课。

“我觉得你们不会太喜欢，”我说，“讲的是某种专业的玩意儿。”

很快，那女的，她很聪明，咂摸出味儿了：“敢情你就是费曼教授！”

后来才知道，那男的就是约翰·力利（John Lilly），他早先研究过海豚。他和他妻子做过一些感觉缺失的研究，建造了一些箱子。

“在那种情况下，你会发生幻觉，确有此事？”我兴致勃勃地问。

“确有此事。”

我总是对梦境和其他闯到你心灵中的形象着迷，这些东西没有直接的感官来源，这东西在脑袋里是怎么搞的，我想看看幻觉。我一度想吃毒品，但我有点儿害怕这个：我喜欢思考，我不想把这个思考的机器报废了。但是，就那么躺在感觉缺失的大箱子里，在我看来，似乎不会有什么心理上的危险，因此，我急不可待地想尝试一下。

我很快就接受了力利两口子的邀请，要去试试大箱子。从他们那方

面讲，这邀请是个好意，他们也和他们那帮子人来听我讲课嘛。

因此，下个星期，我就去尝试大箱子了。力利先生为我介绍大箱子，他对其他人也得这么解释。里头有许多灯泡，跟霓虹灯似的，里头有不同的气体。他给我看了元素周期表，还神秘兮兮、装腔作势地说了一些不同的灯有不同的作用的话。他告诉我，你怎么把鼻子顶着镜面看自己，这是准备着进入大箱子——装神弄鬼、怪里怪气的事儿，应有尽有。我没在意那些胡说八道，但我亦步亦趋地都照着做了，因为我想进大箱子，我也想，或许这样的准备工作，能使你比较容易地得到幻觉。因此，我照他说的，什么都做了。唯一困难的事儿，是选择我希望的颜色的灯，特别是想到这箱子里该是一片黑暗。

感觉缺失箱，像个大澡盆，但有盖儿盖着。里头伸手不见五指，因为盖子很厚，里头也没声音。有个小气泵，往里打空气；但是，我后来知道，你用不着担心空气的事儿，因为里头的空气体积很大，你在里头只待两三小时；在你呼吸如常的时候，你实际上消耗不了太多空气。力利先生说，在那儿弄了气泵，是安慰人心的，因此我琢磨出那仅仅是心理作用，就要他把气泵关了，因为它有点儿噪声。

箱子里的水里有泻盐，它就比普通的水密度大，因此你很容易漂着。温度控制得和体温一样——他都计算过了。里头应该没有光，没有声音，没有温暖感，什么也没有！偶尔你或许会漂到边上，轻轻地触到箱壁，或者由于顶壁上的凝结作用，或许会落下一滴水来，但这种小小的扰乱是很稀罕的。

我一定去过十几次，每次在箱子里待大约2.5小时。第一次，我没什么幻觉；但是，既然我已经进过箱子，力利两口子就把我介绍给一个据说是医生的人，他告诉我一种药，叫克他命（ketamine），这是作麻醉剂的一种药。和在你入睡的时候发生的事有关系的问题，或者和你突然发生故障的时候发生的事有关系的问题，我一直很感兴趣，因此他们

给我看了那种药的说明书，给了我正常剂量的十分之一。

我这种感觉透着怪；每当我想分辨出这是个什么作用的时候，我从来也不能搞得清楚。比方说，这种药，对我的视觉很有作用；我觉得我看不清楚东西，但是，当我努力看什么东西的时候，没问题。类似是这么回事儿：好像你不在乎看不看东西似的；你干干这个，干干那个，一种糊里糊涂的感觉；但是，你一看东西，你一集中精神，起码有那么一小会儿，一切正常。我拿过他们的一本书，有机化学的书，看一个表格，复杂的东西，写得满满当当，我很吃惊，我能读那些东西。

我还干了各种各样其他的事儿，比方说，把两只手从老远往一块儿靠，看能不能让手指头互相碰在一起，尽管我有一种全然失去方向感的感觉，一种无能为力地做事儿的感觉，但我从来也没有发现有一件事儿，我做不了。

前面说过，第一次，我全然没有幻觉；第二次，我全然没有幻觉。但是，力利两口子，是两个很有意思的人，跟他们在一块儿，我非常非常愉快。他们经常给我午饭吃，等等；过了一阵子，我们开始讨论另一个层次的事儿，不像开始那样谈灯的事儿。我发现，别人觉得感觉缺失箱子，不知怎么，可怕；但对我而言，那是一种很有意思的发明。我不害怕，因为我知道那是什么玩意儿：那不过是一个装着泻盐水的大箱子罢了。

第三次，有个男人来访——我在那儿见到过许多有意思的人——他告诉大家，他叫巴巴·拉姆·达斯（Baba Ram Das）。他这个伙计，是哈佛大学的，到过印度，写了本书，名叫《此时此地》（Be Here Now）。他讲述他的印度大师教他如何得到“魂魄出窍的体验”（这种字眼儿，我在布告栏里经常看到）：凝神于气息，凝神于气息怎么样从你的鼻孔进进出出。

为了得到幻觉，我想，我是什么都会试的，于是我就进了箱子。在这个游戏进行到某个阶段的时候，我突然意识到——这很难解释——我向旁边移了一英寸。换句话说，我不是在我正中间呼吸，一吸一呼，一吸一呼：我的自我往边上移动了一点儿，大约移动了几厘米。

我想："现在，我的自我在什么部位？我知道，人人都认为，思想的宝座，在大脑里；但他们怎么知道是那样？"通过读书，我已经知道，在大量的心理学研究搞出来之前，自我在哪儿，大家不是那么清楚。比方说，希腊人认为，思想坐落在肝里。我百思不得其解："孩子们看到人家摸着脑袋说，'让我想想'，就了解到自我坐落在哪儿，可不可能是这样？因此，自我坐落在上头那儿，在眼睛背后，这么一个观念，就自然而成了！"我琢磨着，如果我能把我的自我往边上移动几厘米，我就能把它移得更远些。这就是我的幻觉的开始部分。

我努力尝试，过了一阵子，我顺着脖子，把我的自我弄到了胸膛正中间。在有一滴水落到我肩膀上的时候，我觉得这滴水是在"上方"，在"我"所在的地方的上方。每有一滴水滴下来，我都打一激灵，我的自我就顺着脖子跳回本来的地方。起先，每次要下去，得费不少事；但是，渐渐地，事儿容易了。我能把我的自我一路送到耻骨那儿，偏在一边；但有一阵子，我只能走得那么远了。

另有一次，我在箱子里，那次我决定看看我能不能把自己移到耻骨那儿，我应该能彻底到我的身体外头去。因此，我能"在我不在的另一边"。这很难解释——我动动两只手，拨拉水；尽管我看不见我的两只手，但我知道手在哪儿。但是，和真实生活里的不同，在真实生活里，手是一边一只，位置靠下，现在两只手却在同一边！我手指头上的感觉，其他的一切，都跟往常一模一样，只是我的自我在我身外，"观察着"这一切。

从那以后，我几乎次次都有幻觉，还能把自己移动得越来越远，一

直移到我身体之外。后来弄到这个地步：当我晃动手的时候，我把手看成了某种机械的东西，一上一下地动——手不是肉的了，是机械。但我仍然能感觉一切东西。感觉和动作完全协调一致，但我也有“他在那儿”这么一种感觉，“我”甚至到了屋子外，最后，我在游荡，走过了一段距离，到了我以前看到过发生什么事儿的一些地方。

我有许多种类的灵魂出窍的经历。有一次，比方说，我能“看到”我后脑勺，还把手放在后脑勺上。当我动手指头的时候，我看见手指头在动，但是在四个指头和大拇指之间，我看到了蓝天。当然，那是不对的；那是幻觉。但是，值得注意的是，在我动手指头的时候，手指头的动作和我想象的我正在看到的动作，是完全协调一致的。整个景象将出现，和你感觉到的、做的事情是一致的，这和你早晨慢慢起来的时候很相似，你碰到什么东西（你不知道那是什么东西），突然事情清楚了，你知道那是什么。因此，这整个景象突然出现，只是它不同寻常，这意思是说，你通常是想象自我坐落在后脑勺的前头，可现在，你却把自我想象得在后脑勺的后头。

在我有了一个幻觉的时候，在心理上，有一件事儿，总让我闹心：我或许是睡着了，因此那就仅仅是做梦罢了。和梦有关的体验，我已经有了，我想要新的经验。那是一种傻呆呆的状态，因为，在你有了幻觉的时候，事情是那么个样子，你就不十分敏锐，因此你就让你的心灵去做这些傻事儿，比方说，去检查你是不是在做梦，因此，我总是检查我是不是在做梦——因为我的手经常在脑袋后头——我就互相摩擦两个大拇指，前前后后地摩擦，找到感觉。当然，我倒可能是梦见到了这些，但我没做梦：我知道那是真的。

在开头这段时间，你有了幻觉就兴奋，这一兴奋，幻觉就“跳出去了”，或者停止了；这段时间一过去，我就能放松下来，就能有长时间的幻觉。

一两个星期之后，对计算机是怎么工作——特别是信息是怎么储存的——对脑子是怎么工作，我想了很多。这个领域的有趣问题之一，是记忆是怎么储存在脑子里的：和机器相比，你能从如此多的不同方向把记忆调出来——要得到记忆，你不必用一个正确的地址直接奔它而去。如果我想得到“rent”（租借）这个词儿，比方说，我要用这个词儿来填拼字游戏，这个游戏有个词儿，开头儿是“r”，结尾是“t”；我可以想起各种各样的收入，或者想起像借入和借出这样的活动；想到了这些，那就可以导致各种各样的其他记忆或信息。我在琢磨怎么搞出个“会模仿的机器”，它将像小孩儿那样学语言：你可以和这个机器谈话。但是，我琢磨不出怎么把一些事情有条理地储存起来，以便这机器根据自己的需要，把它再调出来。

对这个发现，我一时扬扬自得，出了箱子，冲了澡，穿上衣服，开始驾车到休斯飞机公司上我每周一次的课。大约是在我从箱子里钻出来四十五分钟之后，我第一次突然意识到，关于记忆是怎么储存在脑子里这个问题，我是一丁点儿想法也没有；我的那些想法，全是幻觉，是关于怎么把记忆储存在脑子里这个问题的幻觉！我“发现”的东西，和记忆在脑子里的储存方式，风马牛不相及；它和我跟我自己玩儿的这些游戏，倒真有关系。

在我早先访问力利两口子的时候，在许许多多关于幻觉的讨论中，我一直竭力向力利和其他人解释：东西是真的，这么一种幻觉，并不反映真实的现实。如果你看到了些金球，或者看到了别的什么玩意儿，看到了好几次，而且，在你发生幻觉的过程中，这些金球还跟你谈话，告诉你，它们是另外一种智力生物，这不意味着它们真是另外一种智力生物，只意味着你得到了这么一种特别的幻觉而已。就是这个时候，我有了这么一种强烈的感觉，要发现记忆是怎么储存的；令人惊讶的是，花了四十五分钟，我才意识到，我一直向人家解释的那个玩意儿，是个错误。

我考虑的一个问题是，幻觉，是不是像梦那样，受到你心里已有的那些东西的影响？——那些东西，来自你当天或者以前的经历，或者来自你希望看到的那些东西。我相信，我有灵魂出窍的经验，其原因，就是在我要钻进箱子之前，我们讨论的，就是灵魂出窍。我有关于记忆怎么储存在脑子里的这样一个幻觉，我认为，其原因是，我整整一个星期一直在思考那个问题。

关于经验的真实性问题，在那儿，我和各种各样的人进行了大量讨论。他们争辩说，在经验科学中，如果关于某事的经验可被重复产生，那么某事就被认为是真的。因此，当许多人看到金球跟他们说话，多次都是这样，那么那些金球就是真的了。我的主张是：在这种情况下，在有人进入箱子之前，讨论到了那么一点儿关于金球的事儿，因此，这个人在进入箱子的时候，他那心灵已经在想着金球的事儿了，他在幻觉中的时候，就看到了近似于金球的某种东西——倒也可能是蓝色或者什么色的球——他就认为他在重新制造出这种经验。有些人，就有一种随声附和的趋势，他们之间的那种一致意见，和你在实验当中得到的那种一致意见，这两者在种类上的区别，我觉得，我是明白的。说出这种区别，何其容易——但给它个精确的定义，却是这么难，这事儿真让人忍俊不禁！

我相信，在幻觉当中，没有什么玩意儿，能够超过身在这个幻觉之中那一个人的内在心理状态。但是，尽管如此，还是有许多人经历了许多经验，他们相信，在幻觉中，有真实在。我的这个看法，或许能够解释，为什么释梦者能取得不小的成功。举个例子，有些精神分析学家，谈论各种各样的象征物的寓意，这就算是对梦的解释。然后呢，这些象征物果真接着就出现在梦境中，这也不是完全不可能的啊。因此，我认为，也许是这样，对幻觉和梦的解释，是一种自体繁殖的过程：多多少少，你会一般性地成功解释它，特别是在你发生幻觉或梦境之前，跟人家仔细讨论过这种事儿。

一般说来，我花大约15分钟就能让一个幻觉运行起来；但是，有几次，我事先吸了一点儿大麻，幻觉就来得很快。但15分钟，对我来说，已经足够快了。

经常发生的一件事儿，是这样：正当幻觉在进行着的时候，会出来一些可以说是“垃圾”的玩意儿：有些直接就是乱七八糟的形象——纯粹的、随机的废物。我试图记住某些垃圾，以便能对它们再梳理一番，但要记住，可难了去了。我想，我能接近在我开始沉沉入睡的时候发生的事儿：清晰的逻辑联系是有的，但是，是什么东西让你想起了你正在思考的那个东西，你却记不得了。实际上，你很快就忘记了你正在努力要想起来的东西。我只记得和芝加哥的白色路标类似的东西，上头还有个小凸物，然后它紧接着就消失了。总有这类东西。

力利先生有多种不同的箱子，我们也做过许多不同的实验。从幻觉这一角度说，那些箱子，似乎没什么不同，而且，我开始确信，这种箱子，是不必要的。既然我看明白了怎么搞法，我就意识到，你只需要安安静静地坐着就成——费事搞这些绝对超级的大骗术，有必要吗？

因此，等我回家的时候，我就把灯都关了，在客厅的一把舒服的椅子上坐着——试了又试——怎么也不灵。在感觉缺失箱子之外，我从来没能发生幻觉。我当然喜欢在家里体验幻觉，我不怀疑，如果你多多练习，你也可以陷入冥想和幻觉，但我不想练习。

野狐禅科学[76]

中世纪，发疯的念头，五花八门，比方说，犀牛角能壮阳。然后就发现了一个办法，来把这些发疯的念头儿按种类分开——这方法是拿一个念头来试试，看它灵不灵；如果不灵，清除之。这种方法系统化了，当然，系统化为科学了。这方法发展得蛮不错，因此我们现在就处在科

学的时代了。置身于这么一个科学时代，事实上，我们都很难理解巫医怎么可能曾经存在过，他们当时提出的那些玩意儿，确实没有灵的——或者说，灵的只有一丁点儿。

但是，即使在今天，我也能碰到不少人，说着说着，就把我扯进了飞碟、占星术、某种神秘、意识感应、另类知觉、超感官知觉，杂七杂八的。我的结论：现在还不是一个科学的世界。

大多数人相信这么多的奇妙事儿，我就决定调查一番他们为什么相信。一直有人说我有探究的好奇心，他们说的这种东西，使我身处困境：在这儿，我发现了这么多的垃圾，简直能把我陷入灭顶之灾。我首先开始调查各种各样的神秘观念，还有神秘体验。我钻进了封闭的箱子里，得到了若干小时的幻觉，因此我就知道了幻觉的一些事儿。然后，我到了伊萨伦（Esalen），这个地方是这类思想的温床（那是个奇妙的地方，你该去一趟）。我又遭到了灭顶之灾。我没想到，那种玩意儿会有那么多。

在伊萨伦，那儿有一些大浴室，温泉供应热水，建在高于海平面10米的礁石上。我有一次最愉快的经历：我坐在一间浴室里，俯瞰海浪拍打那岩石嶙峋的海岸，仰视万里无云的碧蓝长天，研究那个美丽的裸体悄然无声的出现，把自己安顿在我身处其中的这个浴池里。

有一次，我坐在一个浴池里，其中有一个漂亮的女孩儿，和一个家伙坐在一块儿，那家伙似乎并不认识她。我立刻就开始想：“嚯！我怎么跟这个漂亮的裸体宝贝儿搭讪搭讪？”

我正琢磨着说什么呢，那家伙对她说：“我呢，呃，正在研究按摩。能不能，在你身上做做练习？”

“当然。”她说。两个人出了浴池，她就近躺在一张按摩床上。

我心里想：“这台词儿说得真叫棒！我是琢磨不出那种话头的！”他开始摩擦她的大脚趾头。“我想我摸到了。”他说，“我摸到了类似一个坑儿的东西——那是脑垂体吗？”

我脱口而出：“伙计，你离脑垂体何止十万八千里！”

他们盯着我，惊骇莫名——我已经脱了浴衣——我说，“那叫足部反射疗法！”

我迅速闭眼，作冥思状。

那类让我头晕的事儿，这算是一例。我也考察过超感知觉和特异功能现象，最近的大热门，是尤里·盖勒（Uri Geller），据说这人用手指头搓搓钥匙，就能把它弄弯。于是我就接受他的邀请，去了他的旅馆房间，去看读心术和弯曲钥匙。他做的读心术，都不那么成功；我猜，没人能读得透我的心思。我的男孩儿拿着一把钥匙，盖勒就摩擦它，但什么事儿也没发生。然后，他告诉我们，在水下，比较灵验，因此你就看到我们全体都站在浴室里，水龙头打开了，钥匙在水下，他用手指头摩擦那个钥匙。什么事儿也没发生。于是我没办法研究这个现象了。

但是，我开始想，我们还相信什么呢？（我接着就想到了巫医。要检查他们的真伪，何其容易，只要看看什么也不管用，就可以了。）我发现，甚至有更多人相信的一些事儿，比方说，我们有一些知识，说的是怎么教育。有些好大的学校，教阅读，教数学，等等，但是，如果你留心点儿，你会看到，阅读能力是一路下滑——或者说，很难提高——但我们还是用相同的人来改善这种方法。确实存在由巫医开的不管用的药方。这事儿应该调查清楚；他们怎么知道他们的方法灵验？另一个例子是怎么处理罪犯。使用我们处理罪犯的那种方法，我们显然是没有取得什么进步——一大堆理论，但没什么进步。

然而，这些玩意儿，却被说成是科学。大家都在研究这些东西。我认为，具有常识的一般人，被这种伪科学吓呆了。一个很知道怎么教孩子们阅读的老师，受了学校体制的胁迫，不得不用另外的方法教阅读——甚至会被学校体制愚弄到这么一种地步，认为自己的方法不见得好。再如，坏小子们的父母，用这样那样的方法管教过孩子之后，却终生负疚，因为按照专家们的说法，她那么做是“不对的”。

因此，我们实在应该检查一下那些不灵的理论，检查一下并非科学的科学。

我认为，我提到的这些教育和心理学方面的研究，是这么一种事例，我愿意称之为“野狐禅科学”。在南太平洋，有一伙儿崇拜运输机的人。在二战期间，他们看到飞机落到地上，带来了很多好东西，他们希望现在也发生这样的事儿。因此，他们捣鼓了类似飞机跑道的玩意儿，在跑道两边还点了火堆，还造了一个木屋子，让一个男人坐在里头，头上戴着两块类似耳机的东西，竹棍跟天线似的伸出来——他是个领航员——他们在等着飞机着陆呢。他们每件事儿做得都不错。形式是完美的。这看起来的确就是从前那样子。但这一套不灵。没什么飞机着陆。因此，我把我说的那些事儿叫作野狐禅科学，因为那些事儿亦步亦趋地照着看似科学研究的规则和形式来，但少了某种本质的东西，因为没有飞机着陆啊。

这就理所当然地迫使我告诉你，那少了的东西是什么。但是，这事儿解释起来，很难，和向南太平洋的岛民解释在他们的体制中必须怎么安排事儿才能得到一些财富，一样难。告诉他们怎么把耳机的形状弄得像回事儿，事儿不是这么简单啊。但是，我注意到，有一个特征，在野狐禅科学当中，通常是没有的。这个特征是这么一个观念，是我们都希望你在学校的科学研究中学到的那个观念——我们从来也不曾明明白白地说清楚这个观念是什么，我们只是希望通过科学研究的事例来让你把

握它。因此，把这个特征说出来，明明白白地说出来，是有趣的。这个特征，是科学的正直品格，是科学思想的原则，是一种彻底的诚实——一种把脊梁骨向后挺得笔直的风度。比方说，如果你在做一个实验，你应该把所有你认为或许会使这个实验无效的事情都报告出来——不仅仅是把你认为正确的东西报告出来：或许也能够解释你的实验结果的另外一些原因，以及你想到的那些在你的另外一次实验中已经得到清除的因素，以及这些因素是怎么起作用的，这些都要报告出来——让别的伙计确信，那些因素都已经被清除掉了。

有些细节，可能致使别人怀疑你的解释，如果你知道都是什么细节，那你必须交代清楚。你必须尽你所能，把事情解释到最好的程度——如果你知道什么东西是错误的，或者可能是错误的话。比方说，如果你要搞出个理论，要推广它，或者要提出来，那么你也必须把那些不同意这个理论的事实摆出来，就好像把那些同意这个理论的事实摆出来一样。还有一个更微妙的问题。你把好些观念拢到一块儿，要搞出一个精制的理论，这时候，你想弄确实，在你解释什么事情符合这个理论的时候，那些符合这个理论的事情，并不是当初让你有心去搞这个理论的那些事情；可是，这个完成了的理论，额外地也使别的什么事情得到了令人信服的解释。

总的来说，这个观念是，要努力把所有信息都摆出来，以帮助别人来判断你的贡献的价值；不要单单摆出那些会把他们的判断引导到这个或那个特别方向上去的信息。

解释这个观念的最容易的办法，是拿它与（比方说）广告做个比较。昨天晚上，我听说“维森”牌的食用油，不会渗到食物里头。这不是不诚实；但我说的这个事儿，并不仅仅是一个不要不诚实的问题，而是一个科学的正直品格的问题，这层次更高。如果在一定的温度下操作，那么没有什么食用油能渗到食物里头去，这个事实是应该加到广告词中

去的。如果在另一个温度下操作，那么所有的食用油——包括“维森”油——都会渗到食物里头去。因此，那个广告传达的，是蒙人的玩意儿，而非事实，事实才是真实的；这个区别，我们非得搞清楚不可。

我们从经验中知道，真理总会出来。其他实验家会重复你的实验，会发现你是错还是对。自然的现象，将同意或者不同意你的理论。另外，尽管你或许会得到昙花一现的名声和兴奋，如果你在这种或那种工作中不曾做到非常小心谨慎的话，你将得不到身为科学家的好声望。正是这种类型的正直，正是这种不把自己当傻瓜的审慎态度，才是那些野狐禅科学研究中在很大程度上缺少的东西。

他们的困境，有许多当然是主题上的困难，以及他们搞科学的方法不可能用到这个主题上去，然而，我们应该注意，这还不是唯一的困难。那就是飞机为什么不落地——但是飞机就是不落地嘛。

关于如何控制我们把自己当傻瓜的一些方式，我们已经从经验中学到了好多。举个例子：密立根[77]用下落的油滴做实验，来测量一个电子的电荷，得到的答案，我们现在知道，不很正确。它有误差，因为他用的那个空气黏滞性数值是不正确的。看看密立根之后测量电子电荷的历史，是蛮有趣的。如果你把那些测量活动看成是一个随时间而变化的函数，你会发现，一个比密立根的数大一点儿的数，下一个数又比这个比密立根的数大一点儿的数还大一点儿的数，再下一个数又比这个比密立根的数大一点儿的数还大一点儿的数再大一点儿的数，直到最后，这些数都安顿下来了，答案是一个更大的数。

为什么那些人没有立刻就发现最后这个新的比较大的数呢？这事儿让科学家们为之汗颜——这个令人羞臊的历史——因为，人们显然是这样做事儿的：当他们得到了一个比密立根的数大得太多的数的时候，他们以为一定有什么东西出错了——他们就去找，结果找到了一个解释的理由，说为什么某个东西或许错了。当他们得到了一个接近于密立根的

数的数的时候，他们就不费劲去找了。因此，他们就把那些相去太远的数，都消灭了，然后再去做那样的蠢事。如今，我们已经了解了那些特别诱惑人犯错误的情况，现在我们就不犯这种病了。

但是，这个学习如何才能不把自己当傻瓜的漫长历史——一个有着彻底的科学正直品格的历史——是，抱歉我这么说，是一个我们还没有把它特别列入任何我所知道的课程之中的东西。我们只好希望，通过潜移默化，你能理解它。

首要的原则，是你万不可把自己当傻瓜——而你就是那个最容易被当作傻瓜的家伙。因此，对这件事儿，你务必非常留神。在你没把自己当傻瓜之后，不把别的科学家当傻瓜，就容易了。在那之后，你只需要像传统的方式那样，做到诚实无欺就可以了。

我愿意再补充点儿东西，这个东西对科学来说，并不必要，却是我相信的一种东西，这东西是，在你身为科学家跟外行人谈话的时候，你也不应该把他们当傻瓜。我不想告诉你怎么骗你妻子，怎么愚弄你的女朋友，以及诸如此类的事儿，那个时候，你也不打算以科学家的身份行事，你只想以普通的人类身份行事。我将把那些问题，留给你自己和你的牧师。我现在谈的是一种特别的、额外类型的正直品格，这种正直不是躺着撒谎（lying）[78]，而是脊梁骨向后挺直，来表明你自己或许是错误的；在你身为科学家行事的时候，你非得有这种正直品格不可；你对其他科学家当然要如此正直，而我认为，对外行，亦复如是。

比方说，有一次我和一个朋友谈话，他要上广播电台说话，我有点儿吃惊。他是搞宇宙论和天文学的，他不知道怎么解释他的工作有什么实用价值。“哦，”我说，“没什么实用价值。”他说：“对，但那样说，我们就得不到资金赞助来进行进一步的研究了。”我认为，那是一种不诚实。如果你以科学家的身份出现，那你就应该向外行人解释你正在干的事儿——如果他们在那些情况下不想给你资金赞助，那是他们的决

定。

这个原则的一个例子是这样：如果你决意要检验一个理论，或者你想解释某个观念，那么你应该总是按照它出来时的那个样子发表。如果我们只发表某种结果，我们是能把这个论点搞得好看的。我们一定得把两种结果都发表了。

我得说，在给政府提某种类型的建议的时候，这也是重要的。假定有个参议员来征求你的意见，问你应不应该在他那个州钻个洞；你呢，看准了在别的州钻那个洞会比较好。如果你不发表这样的结果，在我看来，你没提出科学的建议。你是被利用了。如果你的回答，碰巧和政府或者政客喜欢的方向一致，他们就可以根据他们的好恶把你的回答用作一个论据；如果你的回答跟他们顶着，他们压根儿就不发表了。那也不是提出科学的建议。

另外几种谬误，则具有品质低劣的科学的特点。在康奈尔大学的时候，我经常和心理学系的人谈话。有一个学生告诉我，她想做这么个实验——别人已经发现，在某些情况X之下，老鼠做某事A。她很好奇，想知道，如果她把情况变为Y，老鼠还会不会仍然做A。因此，她的建议，是在情况Y之下做实验，来看老鼠是否仍然做A。

我对她解释说，在她的实验室里首先重复另外那个人的实验，是必要的——在条件X之下做这个实验，看她能不能也得到结果A，然后再变为Y，并且看A变不变。那样她才会知道真正的差别是她认为的那个在她的控制之下的那个事儿。

得了这么一个主意，她很高兴，接着就去找她的教授。他的回答是，不，你不能那么做，因为那个实验已经做过了，你那是浪费时间。这事儿发生在1947年前后，不打算重复做心理学实验，只改变实验条件并看看发生什么事儿，似乎一直是那个时候的一般路数。

如今，发生同样事情的某种危险，也是存在的，甚至在这个口碑不错的物理学领域里，也是有的。有个人用“国家加速器实验室”的大型加速器来做重氢实验；我听到这事儿，大吃一惊。为了把他的重氢结果拿来和用轻氢做的实验可能有的结果做对比，他不得不利用别人在不同的设备上做的轻氢实验的数据。等有人问他怎么能这么搞，他说，那是因为这个项目没时间用轻氢在这个设备上做实验了（因为时间那么少，而设备那么贵），因为做也不见得会有新结果。于是，在“国家加速器实验室”负责这个项目的这个人，出于公关目的，急于要得到新数据，为的是得到更多的资金，以使这个事儿继续下去。他们或许是在毁掉这个实验本身的价值，在毁掉这个实验的目的。按照科学的正直品格的要求来完成工作，这对在那儿的实验科学家来说，常常不容易。

然而，心理学中的全部实验，都不属此类。比方说，一直有许多实验，让老鼠在各种各样的迷宫里跑，诸如此类——结果不甚了然。但是，在1937年，一个叫杨格（Young）的人，做了一个非常有意思的实验。他搞了一个好长的走廊，沿着一边有许多门，老鼠就是从这些门进来的；沿着另一边也有许多门，食物放在那儿。他想看看他能不能训练老鼠从他把它们放开的地方往下数第三个门进去，无论他在什么地方放它们。不能。老鼠们立刻跑向前一次放了食物的那个门。

问题是：因为这个走廊造得这么漂亮，这么整齐一律，老鼠们怎么知道那就是以前的那同一个门？显然，那个门一定有什么东西，和其他的门不同。于是，他把那些门仔仔细细地上了漆，门面用的是质地完全相同的材料。老鼠仍然找得到是哪个门。于是，他认为，或许老鼠在嗅食物的气味儿，因此，在每次老鼠跑过之后，他都用化学药品把气味改变了。老鼠仍然找得到是哪个门。于是，他意识到，老鼠或许能借助看灯以及实验室的布置来找到是哪个门，就像任何懂常识的人做的那样。于是，他把走廊盖起来，老鼠仍然找得到是哪个门。

他最后发现，老鼠凭借在跑的时候地板发出的声音来找到是哪个门。他只需要把走廊放在沙里，就能确定此事。因此，他一个接着一个，把所有可能的线索都消除了，最终就能把老鼠愚弄住，它们也不得不学习从第三个门进去了。如果他对他的任何实验条件马虎了，老鼠都能知道。

从科学观点看，这是一个一流的实验。正是这个实验，才使遛老鼠的这种实验有意义，因为它揭示了老鼠真正使用的线索——而不是你以为它用的那些线索。正是这个实验，才说得准确你必须用什么实验条件，才能做到谨慎，才能把一个遛老鼠的实验中的一切置于控制之下。

我注意到这一研究的后续历史。下一个实验，以及下下个实验，都不曾提到杨格先生。他们都没有使用他把走廊放在沙里的这个标准，也不十分谨慎。他们不过是按照老办法遛老鼠罢了，对杨格先生的伟大发现毫不注意，他的论文，提也不提，因为他没有发现关于老鼠的任何事儿。实际上，他发现了你必得发现的关于老鼠的全部事情！但是，对那样的实验毫不注意，本来就是野狐禅科学的一个特点。

另一些例子，是莱因（Rhine）先生和其他人的特异功能现象实验。正如许许多多人批评的那样——他们也对自己的实验进行批评——他们改善了实验技巧，因此实验效果越来越小，越来越小，越来越小，直到消失殆尽。所有研究超自然现象的心理学家，都在寻找某种可以重复的实验——那种他们可以重复做并得到相同结果的实验——即便有统计学的意义也好。他们遛了一百万只老鼠——说错了，这次遛的是人——他们干了大量的事儿，得到了某种统计学上的效果。下次他们再试，不灵了。现在，你发现有人说，希望一个可重复的实验，本来就是个无关紧要的要求嘛。这是科学？

这个人，在他宣布辞去“超心理学研究所”主任之职的讲话中，也在宣讲一种新的制度。他告诉人们在将来要做的事儿，他说，他们必须做

的许多事情中有一件，是确保他们只培养这样一些学生：他们已经显示了他们的能耐，这种能耐是要把特异功能的结果提高到一种可被接受的程度——不打算把他们的时间浪费在那些野心勃勃、患得患失的学生身上，这些学生只是碰巧得到了结果而已。在教学中实行这样的政策，是非常危险的——只教学生怎么存心得到某些结果，而不是教他们本着科学的正直品格来做个实验。

因此，我对你们只有一个祝愿——祝你好运，到一个你能够自由地保持我刚才说的这种正直品格的地方去吧，在那个地方，你不觉得被迫需要维持你在一个组织中的地位或者财政支持，以及诸如此类的事儿，从而失去你的正直品格。祝愿你享有这样的自由。

译后记

王祖哲

济南山东大学文艺美学研究中心

2005年3月5日

《别逗了，费曼先生！》现在翻译完了。我在想象，亲爱的读者，在你掩卷之际，我们是否会有相似的感受。

我在读这本书的时候，我最想知道的，是这个人是如何努力工作才成为诺贝尔奖得主的；可是，费曼或许早就料到了这一点，而他偏偏不喜欢做你能够预料到的事情，所以他就没有在这个方面花费太多的笔墨，却对他的那些恶作剧啊、打鼓啊、在赌城的荒唐事儿啊，讲个不亦乐乎。仔细想来，他仍然满足了我们的好奇心：起码他这个诺贝尔奖，是玩出来的。

我甚至认为，全部的诺贝尔奖得主，以及其他一切创造了伟业的人，或许都是玩出来的吧。你想必还听说过牛顿曾经把怀表当鸡蛋煮了，爱迪生曾经忘记了婚礼。只有那些在外头玩得流连忘返的儿童，才有可能犯下这种错误。这些作为玩家的大科学家和我们这些贪玩的人的不同之处，仅仅在于他们的玩意儿碰巧对文明发展有益；而我们却是空玩一场。

许多人相信像费曼这样的大科学家都是一些非常古板的人，是最能

够忍受命令和规矩的好孩子，对枯燥乏味有免疫力。费曼的故事证明这种看法刚好与事实相反。头脑正如你的宠物狗，渴望充足的活动；并不出于现实目的地使用你的头脑，它就会成为一条活蹦乱跳的狗，那就是一种玩儿。许多人误以为无所事事、闲着发呆是一种福分，而不曾意识到那是一种扼杀生命力的苦刑。在一定程度之内，成就一件事情可能获得的快乐，与我们必须克服的困难大小成正比。由于科学是一件需要花费巨大脑力的事情，那么它可能带来的快乐也同样巨大。

我们天生具有费曼的资质。我们本来对书本和自然天生具有大科学家的那种好奇心。如若不信，你就观察那些才来人世不久的小孩儿。他们喜欢图画和书本，瞪着好奇的大眼，专注地观察这个新奇的世界。我们至今也不知道儿童怎么可能如此迅速地就掌握一门语言。一旦听说了"为什么"这个词儿，他们就不停地问"为什么"；他们的问题，只有最有创造性和想象力的科学家和哲学家才能够提得出来，把个无知的父母问得恼羞成怒。

可是，一旦我们进了学校，这种蔑视一切成见的好奇心，很快就消失殆尽。学校，本来应该是一个教人喜欢书本的地方，一个鼓励好奇心的地方；可是，我们的学校把书本用做刑具，以羞辱和惩罚来"鞭策"学生，它要求我们像计算机那样记住东西，它以刁钻古怪的考题打击我们的自信，它敌视独立思考，结果它变成了一个消灭好奇心的屠宰场。那些讨厌教育的教育家，还要把许多可怕的色彩涂抹在学习这件本为乐事的事情上，好像有的女人把辣椒或墨水涂在乳头上迫使孩子断奶似的；他们说，你必须"头悬梁、锥刺股"，"书山有路勤为径，学海无涯苦作舟"，好像他们不把学生吓晕，就心有不甘似的。在他们看来，教育和科学研究本身是苦事，其价值在于它可能带来的实际利益，（这种卑琐的市侩习气！）因此使学生受苦，就理所当然，却不相信爱因斯坦的话："学习是一种难得的乐事。"呜呼，这种短视的实用主义，至今仍然是统治我们的教育和科学研究的指针。

如何重建我们的教育哲学和制度，需要我们好好思考。这本书将为教育工作者和研究家提供一个生动的案例。费曼甚至专门谈到了教育的问题。他在书中对巴西教育的描绘和批评，要是放在中国教育体制的名下，不也很合适吗？

或许你觉得费曼这个人太过散漫，有时荒唐——但这是一种错觉。他实际上是一束激光；我们在书里看到的许多故事，不过是这束激光在燃烧钢板时飞溅出的火花。他在评审课本的时候，必得一本一本亲自看。他在参加一个会议的时候，如此不肯通融地与俗见作对。他对科学的正直品格提出的要求，使人肃然起敬。在此，你将会发现真人和俗人之间有什么不同。俗人的正经事，在真人的眼中，是荒唐的闹剧；俗人认为可以马虎通融的事情，真人挺直了脊梁骨，分毫不让。费曼之所以毫无顾忌地讲述那些荒唐事，明显地是对伪君子们的嘲弄。他无意要你认可他做的一切事情；他仅仅是以极端的方式，要求你正直而真实。他对皇家不恭敬，不意味着他认为诺贝尔奖本身没有价值。他难以忍受的是附着在这个奖金之上的许许多多俗人俗事。这是一种神人般的高傲姿态。你会发现，他对自己的人格和事业尊敬到无以复加的地步；与此相比，皇帝何足挂齿！你想必也能意识到，使他的生命如此灿烂的，是他最喜欢玩的一个东西，那就是科学。费曼这个人，有名士风度——不对，他是个英雄！却又是这么个可爱的英雄！

这是一本好书，它使我神思飞扬，它是一场精神的狂欢节。我真希望自己能像费曼这样，活得如此愉快，如此自由，如此饱满！年轻的读者，尽情吸收费曼的精神和灵性吧！为了成就一个伟大的人格，找一件真有意思的玩具，比方说科学，尽情玩吧！

我必须感谢我的朋友，山东大学外语学院的李绍明教授，一个我佩服得五体投地的翻译家，他阅读了全部的译稿，指出了四十多处败笔！同样的谢忱送给我的编辑吴炜女士，若无她的严格要求，我必定在许多

地方贻笑大方。本书当中必定仍然存在不少缺憾，那要归咎于我自己的冥顽不灵。

[1]得克萨斯州中东部的一座城市，位于达拉斯福特沃斯南部，造船和工业中心。（本书脚注除特别说明外，都是译者注。）

[2]纽约州东部的一座城市，位于奥尔巴尼西北部莫霍克河岸。

[3]丹尼尔·伯努利（Daniel Bernoulli，1700—1782），瑞士物理学家和数学家。

[4]约翰·斯图尔特·穆勒（John Stuart Mill，1806—1873），英国哲学家及经济学家，对19世纪英国的哲学、经济学以及政治学、逻辑学和伦理学产生过重大影响。他的著作《论自由》已由商务印书馆翻译出版。

[5]托马斯·亨利·赫胥黎（omas Henry Huxley，1825—1895），英国生物学家，自达尔文在1859年发表《物种起源》起，他就成为达尔文的最早支持者，他清晰而通俗的演讲，对科学家和公众接受进化论思想发挥了很大的作用。

[6]歌德的长诗《浮士德》里的魔鬼。

[7]威廉·布拉德福·肖克利（William Bradford Shockley，1910—1989），生于伦敦的美国物理学家，1936—1956年在贝尔实验室工作，1956年他因研制晶体管方面的贡献而与他人共获诺贝尔奖。

[8]美国新墨西哥州的一个县。第一颗原子弹和氢弹都是在此研制的。

[9]在美国开展研制原子弹的“曼哈顿计划”的时候，这个地方是科学家们的旅馆和饭店。

[10]转矩，作用在物体上使它转动或具有转动趋势的力矩。

[11]阿尔弗雷德·诺思·怀特海（Alfred North Whitehead，1861—1947），英国数学家及哲学家，数学逻辑的创建人，他与伯特兰·罗素合著了《数学原理》一书，讨论数学的逻辑基础。

[12]埃德加·道格拉斯·亚德里安爵士（Lord Edgar Douglas Adrian，1889—1977），英国生物学家，以对神经系统的工作原理的解释而与他人共同获得1932年诺贝尔生理学或医学奖。

[13]德特乐夫·沃尔夫·布朗克（Detlev Wulf Bronk，1897—1975），美国生理学家和

教育家。他研究的主题是感觉的性质、身体运动控制、神经的化学刺激、神经脉冲及其机制，以及通过电化学方法来测量神经纤维的耗氧量。

[14]詹姆斯·杜威·华生（James Dewey Watson），1928年生的美国的生物学家；弗朗西斯·亨利·康普顿·克里克（Francis Henry Compton Crick），生于1916年的英国生物学家。他们与生于1916年的英国生物学家毛里斯·威尔金斯（Maurice Wilkins）共同合作，发现了DNA即脱氧核糖核酸分子的双螺旋模型，为此共同获得1962年诺贝尔生理学或医学奖。

[15]马克斯·路德维格·亨宁·德尔布鲁克（Max Ludwig Henning Delbrück，1906—1981），出生于德国的美国生物学家，与出生于意大利的美国生物学家萨尔瓦多·爱德华·鲁利亚（Salvador E.Luria）以及美国遗传学家艾尔弗雷德·赫尔希（Alfred D.Hershey）合作发现了病毒的复制机制与遗传学结构，而共同获得1969年诺贝尔生理学或医学奖。

[16]一种微小圆形的由RNA及蛋白质构成的微粒，发现于活细胞的细胞质中，且活跃于蛋白质的合成中。

[17]詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879），英国物理学家，以对光和电磁波之间的关系研究以及对气体分子运动论的创立而闻名。他的研究导致了20世纪几项重要的物理学发展，其中包括爱因斯坦的狭义相对论和量子论。

[18]亨德里克·洛伦兹（Hendrick A.Lorentz，1853—1928），荷兰物理学家，1902年诺贝尔物理学奖得主。

[19]尤金·保罗·魏格纳（Eugene Paul Wigner，1902—1995），生于匈牙利布达佩斯的美国物理学家，以其对原子核结构的阐述以及关于质子和中子性质的量子力学理论，而与人共同获得1963年诺贝尔物理学奖。1930年开始在普林斯顿大学工作。他对核反应堆的发展卓有贡献。

[20]亨利·诺里斯·罗素（Henry Norris Russell，1877—1957），美国天文学家，以对星体演化的研究而闻名，1900年在普林斯顿大学获得博士学位，1905～1947年任普林斯顿大学天文台台长。

[21]约翰·冯·诺伊曼（John Von Neumann，1903—1957），出生于匈牙利的美国数学家，他开创了博弈论这个数学分支。1930年进入普林斯顿大学。在第二次世界大战

期间，他是原子弹计划的顾问。

[22]沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli，1900—1958），奥地利物理学家，1945年的诺贝尔物理学奖得主。他以对量子力学的“不相容原理”的定义而闻名。他多次做过普林斯顿大学“高等研究所”的客座教授。

[23]阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein，1879—1955），德裔美国理论物理学家，他创立的狭义和广义相对论使现代关于时间和空间性质的观念发生突破性进展并给原子能的利用提供了理论基础。他以对光电效应的解释获1921年诺贝尔奖。希特勒执政后，他到了美国普林斯顿大学高等研究院工作。

[24]一种儿童游戏：比方说，把一盒火柴随意撒开，然后一次只挑起一根儿，其他的不可碰动。

[25]根据1975年在圣巴巴拉市的加利福尼亚大学“关于科学与社会的第一次圣巴巴年度讲座”中的一次讲话改编。“从低处看洛斯阿拉莫斯”是《洛斯阿拉莫斯忆事》（*Reminiscence of Los Alamos*）中的九篇演讲中的一篇。（*Reminiscence of Los Alamos*，1943—1945，edited by L.Badash et al.，pp.105～132.Copyright（c）1980 by D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.）——原注

[26]阿瑟·霍利·康普顿（Arthur Holly Compton，1892—1962），美国物理学家，因发现康普顿效应而与他人共获1927年诺贝尔奖。

[27]哈罗德·克莱顿·尤里（Harold Clayton Urey，1893—1981），美国化学家，因发现氘（重氢）获得1934年诺贝尔奖。

[28]伊西多尔·伊萨克·拉比（Isidor Isaac Rabi，1898—1988），生于奥地利的美国物理学家，曾获1944年诺贝尔物理学奖。

[29]尤里乌斯·罗伯特·奥本海默（Julius Robert Oppenheimer，1902—1967），美国物理学家，他于1942—1945年间在第一颗原子弹的研究过程中，指导了新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯的实验室工作。

[30]汉斯·贝特（Hans Albrecht Bethe），1906年生于法国的美国物理学家，曾获1967年诺贝尔物理学奖。

[31]爱德华·特勒（Edward Teller），生于1908年，匈牙利裔美籍物理学家，他协助

开发了原子弹并提供了氢弹的理论框架。

[32]埃米利奥·塞格雷（Emil Segrè，1905—1989），意大利裔美国物理学家。他因证实了反质子的存在而获1959年诺贝尔奖。

[33]克劳斯·艾米尔·尤利乌斯·富克斯（Klaus Emil Julius Fuchs，1911—1988），出生于德国的物理学家，致力于英美核武器发展的研究，曾因向苏联提供科学机密被监禁。

[34]新墨西哥州首府，位于该州中北部，阿尔伯克基东北方。

[35]恩里科·费米（Enrico Fermi，1901—1954），意大利裔的美国物理学家，因研究中子人工引发原子衰变而获1938年诺贝尔奖，1942年他在芝加哥大学拥挤的球场上第一次实现了受控连锁核反应。

[36]尼尔斯·亨利克·戴维·玻尔（Niels Henrik David Bohr，1885—1962），丹麦物理学家。因对原子结构和放射的研究获1922年诺贝尔奖。他的儿子亚奇·尼尔斯·玻尔（Aage Niels Bohr，生于1922年）也是一个物理学家，因发现原子核的非对称性而获1975年的诺贝尔奖。

[37]古希腊神话中残暴的科林斯国王，被判永远将一块巨石推上海蒂斯的一座小山，而每当接近山顶时，石头又会滚下来。

[38]岛拉塔克群岛中的一个环状珊瑚岛，位于太平洋中西部的马绍尔群岛，美国1946年和1958年的核实验基地，第一颗氢弹的空中爆炸（1956年5月21日）在此进行。——译者

[39]路易斯·沃尔特·阿尔瓦雷茨（Luis Walter Alvarez，1911—1988），美国物理学家，因其对亚原子粒子的研究而获1968年诺贝尔奖。——译者

[40]美国纽约州首府（自1797年以来），位于纽约州东部哈得孙河西岸，是哈得孙深水航道的起点。1664年英国人控制了17世纪早期建立的荷兰定居地奥兰治要塞，并将其改名为奥尔巴尼。

[41]奥利弗·洛奇（Sir Oliver Joseph Lodge，1851—1940），英国物理学家和作家，以其对无线电报的发展所做出的贡献而知名。他晚年相信超自然现象。

[42]纽约中部偏西南的一座城市，位于卡育加河沿岸、锡拉丘兹西南偏南，是康奈尔

大学的所在地（1865年特许建立）。

[43]罗伯特·伍德罗·威尔逊（Robert Woodrow Wilson），生于1936年的美国物理学家和辐射天文学家，因研究宇宙微波辐射而获1978年诺贝尔奖。

[44]新泽西州的劳维尔·特林（Lowell C.elin）感觉到费曼把那个速度比弄颠倒了——或许是故意的，为的是刺激读者自己去做这个实验。特林经不住诱惑，为一个旋转的盘子拍了录像，证实盘子转速和徽章转速的比是2比1，刚好和费曼说的相反。实际上费曼没发现这个错误，甚至在稿件校对后都没发现。让费曼焦躁不堪的，是这么一个简单的比值竟然隐藏在这么复杂的运动中。——拉尔夫·莱顿

[45]美国得克萨斯州的一座城市。

[46]历史上中欧和东欧的犹太人所用的语言，是多种语言的混合，主要来自于中世纪日耳曼方言，其次来自于希伯来语、阿拉姆语和各种斯拉夫语、古法语及古意大利语。

[47]位于加利福尼亚州南部，好莱坞东南不到100千米处，洛杉矶市区的一部分，因其每年的玫瑰花车游行而闻名。

[48]利诺斯·卡尔·鲍林（Linus Carl Pauling），生于1901年的美国化学家，因其研究化学键性质的成就获1954年诺贝尔奖，1962年又因其在裁军方面所付出的努力而获诺贝尔和平奖。

[49]默里·盖尔曼（Murray Gell-Mann），生于1929年的美国物理学家，因其对亚原子粒子的研究获1969年诺贝尔奖。

[50]沃尔特·巴德（Walter Baade，1893—1960），美籍德裔天文学家，他的研究使星际距离的测量更加准确。——译者

[51]汤川秀树（1907—1981），日本物理学家，1949年获得诺贝尔物理学奖。他根据量子力学和力场对基本粒子的影响，从理论上推断了介子的存在。

[52]朝永振一郎（1906—1979），日本物理学家，1965年获得诺贝尔物理学奖。他是量子电动力学的奠基人之一。

[53]弗兰克·劳埃德·莱特（Frank Lloyd Wright，1869—1959）美国建筑师，他基于自然形式的特殊建筑风格极大地影响了现代建筑业。他的设计包括私人住宅，在威斯

康辛州的拉辛市的约翰逊制腊公司办公大楼（1939年），和纽约的古根海姆博物馆（1943—1959）。

[54]菲利普·莫利斯公司的创始人，英国商人。他从1847年在伦敦开了一家烟店开始起家。“万宝路”烟就是菲利普·莫利斯公司的品牌。

[55]拉斯·昂萨格（Lars Onsager，1903—1976），挪威出生的美国化学家。他的特别兴趣在于溶液的热力学。由于他的互惠关系定律，即后来所谓热力学零定律，他于1968年获得诺贝尔化学奖。

[56]李政道，1926年出生在上海的美国核物理学家，以其在量子力学方面的研究而知名。他在中国的浙江大学、西南联合大学和美国的芝加哥大学接受教育。他曾在加利福尼亚大学、普林斯顿高等研究院以及哥伦比亚大学任职。他和他的合作者杨振宁以实验的方式证明，在弱核反应中，宇称守恒定律不再正确。为此他们获得了1957年的诺贝尔物理学奖。

[57]杨振宁，1922年出生在合肥的美国理论物理学家，以其对基本粒子的性质和行为的研究而知名。他曾在中国的西南联合大学和美国的芝加哥大学接受教育。从1948年到1949年，他在芝加哥大学教授物理学，其间得到邀请，到普林斯顿大学高等研究院做研究。1952年他成为该研究院的终身研究员。1965年他被任命为纽约州立大学阿尔伯特·爱因斯坦教席教授。1957年与合作者李政道获得诺贝尔物理学奖。

[58]吴健雄（1912—1997），生于江苏苏州的美国女实验物理学家。她1936年到伯克利大学进行研究，以后到了普林斯顿大学和哥伦比亚大学从事研究和教学工作。她最伟大的贡献是否定了宇称守恒定律，同时她也否定了粒子-反粒子对称的假设。

[59]美国明尼苏达州东南部的一座城市，位于圣保罗东南。

[60]美国纽约州中部的一座城市，位于罗彻斯特东南偏东。

[61]埃尔文·薛定谔（Erwin Schr dinger，1887—1961），奥地利物理学家，量子力学奠基者之一，因发现原子理论的新模式而获1933年诺贝尔奖。

[62]保罗·阿德利安·莫里斯·狄拉克（Paul Adrien Maurice Dirac，1902—1984），英国理论物理学家，量子力学奠基者之一，1933年因新原子理论公式与薛定谔分享诺贝尔奖。

[63]北卡罗莱纳州的首府，位于该州的中东部，达勒姆市的东南。

[64]北卡罗莱纳州中北部的一个城镇，位于罗利西北偏西的彼得蒙边界。

[65]物理学家们说的显然是Gμν，描述引力场的张量。

[66]维尔纳·卡尔·海森伯（Werner Karl Heisenberg，1901—1976），德国物理学家，量子力学的奠基人。因其不确定原理而荣获1932年诺贝尔物理学奖。

[67]瑞士精神病学家赫尔曼·罗尔沙赫（Hermann Rorschach）相信，人们在解释墨迹图案的时候，他们的人格特征和潜意识会被揭示出来。心理学家给一个人十张有墨迹图案的卡片，然后要求他描述他看到了什么，然后问他们问题。

[68]加利福尼亚西南、洛杉矶县的一个城市。

[69]让·保罗·格蒂（Jean Paul Getty，1892—1976），美国商业经理，他聚敛了数亿美元资财并在加利福尼亚的马利布建立了一个博物馆（1953年），以公开展出他的大量艺术收藏。

[70]米开海尔·肖洛霍夫（Mikhail Sholokhov，1905—1984），小说《静静的顿河》的作者，苏联作家，曾获1965年诺贝尔文学奖。

[71]1927年出生的意大利女电影演员、导演和摄影师。我国电影观众熟悉的电影《巴黎圣母院》中的吉普赛姑娘艾斯米拉达，就是她扮演的。

[72]在我还是康奈尔大学的一个年轻教授的时候，有一年，纽治保尔教授已经在一个名叫“梅森哲讲座”的系列讲座上讲课了，讲的是巴比伦的数学。讲座很精彩。第二年讲课的是奥本海默。我记得我自己心里想，“有朝一日，要是我能像那样讲课，可太美了！”若干年后，我拒绝了许多地方请我去讲课，却应邀去讲“梅森哲讲座”。我当然不会拒绝，因为那是我的夙愿，因此我接受了邀请，在一个周末到了罗伯特·威尔逊家里，和他讨论了许多想法。讨论的结果，是一个系列讲座，名为“物理定律的本性”。——原注

[73]在我研究汤普逊先生的金星周期修正表的时候，发现他做了一个少有的夸张。他写道，只要看看这个表，你就可以断定玛雅人是怎么计算出金星的正确周期的——用这个数四次，用那个差一次，你就能得出40000年才差一天这样一个精确数，这可真是了不起，特别是由于玛雅人只观察了几百年的时间。汤普逊碰巧挑了一个数字

组合，这个数字组合符合他所认为的正确的金星周期数即583.92。但是，如果你用的是更精确的数字，如583.923，你会发现玛雅人的误差更大。当然，你也可以在表中挑另外一个不同的数字组合以得到583.923，同样了不起的精确！——原注

[74]1965年8月11～16日，旧金山南部的瓦特区，由警察逮捕一名疑为酒后驾驶的黑人青年而引起的黑人反失业和反贫困的暴乱。

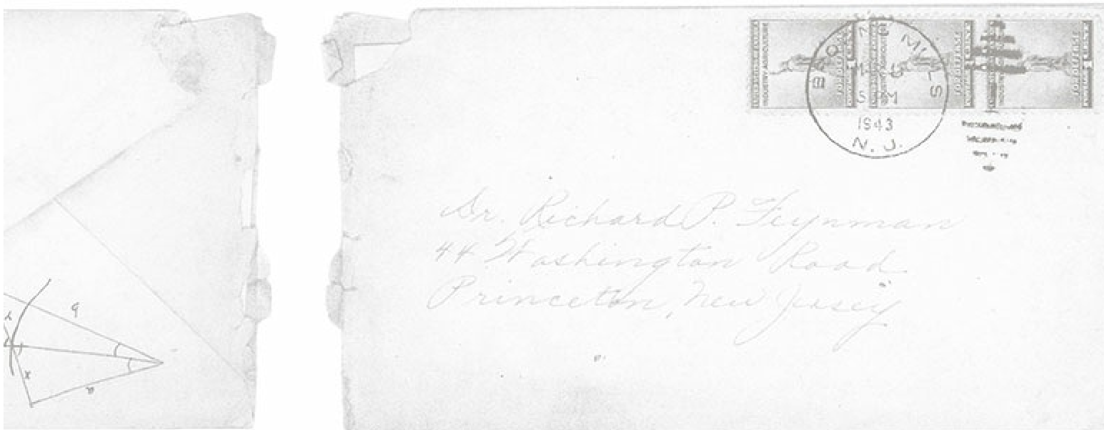
[75]塞缪尔·约翰逊（Samuel Johnson，1709—1784），英国作家与词典编纂家，作为趣味的仲裁者，他是18世纪的一位重要人物，他的散文风格以有力与匀称而著称。

[76]根据1974年在加州理工学院的开学典礼讲话整理。——原注

[77]罗伯特·安德鲁·密立根（Robert Andrews Millikan，1868—1953），美国物理学家，因测量电子电荷而获1923年诺贝尔奖。

[78]费曼在这里玩了一个文字游戏：他用的这个词儿lying在英语里有两个意思，撒谎和躺着，以便和下一句中的“挺直”形成对照，于是我把它勉强翻译为“躺着撒谎”。

Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track:
The Letters of Richard Feynman



费曼手札：不休止的鼓声

[美]理查德·费曼 著

[美]米歇尔·费曼 编辑 叶伟文 译

湖南科学技术出版社

版权信息

费曼手札：不休止的鼓声

著者：[美]理查德·费曼

编辑：[美]米歇尔·费曼

翻译：叶伟文

责任编辑：吴炜　孙桂均　李蓓

书籍设计：邵年

ISBN：9787571000172

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息
理查德·费曼|Richard P.Feynman
前言
序
第1部 普林斯顿|1939～1942年
第2部 洛斯阿拉莫斯|1943～1945年
第3部 从东岸到西岸|1946～1959年
第4部 美国国家科学院|1960～1970年
第5部 费曼物理讲座|1960～1965年
第6部 诺贝尔奖|1965年
第7部 科学教育|1966～1969年
第8部 鼓声咚咚|1970～1975年
第9部 不改其志|1976～1981年
第10部 电视新星|1982～1984年
第11部 最后一幕|1985～1987年
附录一 我有一种信仰——费曼接受《观点》节目的访谈
附录二 失礼的引力
附录三 物理学的未来
附录四 《加州科技》杂志号外：费曼博士荣获诺贝尔奖
附录五 新数学的新教科书
附录六 两个寻找夸克的人
致谢

理查德·费曼|Richard P.Feynman

1918年，费曼诞生于纽约市布鲁克林区。1942年，从普林斯顿大学取得博士学位。第二次世界大战期间，他曾在美国设于新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）实验室服务，参与研发原子弹的“曼哈顿工程”（Manhattan Project），当时虽然很年轻，却已经是该工程中的重要角色。随后，他任教于康奈尔大学以及加州理工学院。1965年，由于他在量子电动力学方面的成就，与朝永振一郎（Sinitiro Tomonaga）、施温格（Julian Schwinger）两人，共同获得该年度的诺贝尔物理学奖。

费曼博士为量子电动力学理论解决了不少问题，同时首创了一个解释液态氦超流体现象的数学理论。之后，他跟盖尔曼（Murray Gell-Mann）合作，研究弱相互作用，例如β衰变等，做了许多奠基性工作。后来数年，费曼成为发展夸克（quark）理论的关键人物，提出了在高能量质子对撞过程中的部分子（parton）模型。

在这些重大成就之外，费曼还把一些基本的新计算技术和记法，引入了物理学。其中包括几乎无所不在的“费曼图”，因而改变了基础物理概念化与计算的过程，成为可能是近代科学史上，最脍炙人口的一种表述方式。费曼是一位非常能干的教育家，在他一生所获得的数不清的各式各样的奖赏中，他特别珍惜在1972年获得的厄司特杏坛奖章（Oersted Medal for Teaching）。《费曼物理学讲义》（*The Feynman Lectures on Physics*）一书最初发行于1963年，当时《科学美国人》杂志的一名书评家称该书为“……真是难啃，但是非常营养，尤其是风味绝佳，为25年来仅见！是教师及最优秀学生的指南”。为了增长大众的物理知识，费曼博士写了一本《物理定律的本性》（*The Character of Physical Law*）

以及《*QED*：光和物质的奇妙理论》（*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*）。他还写了一些专业的论著，成为后来物理学研究者与学生的标准参考资料和教科书。

费曼是一位建设性的公众人物。他参与“挑战者号”航天飞机失事调查工作的事迹，几乎家喻户晓，尤其是他当众证明橡皮环不耐低温的那一幕，是一场非常优雅的即席实验示范，而他所使用的道具不过冰水一杯！比较鲜为人知的事例，是费曼在20世纪60年代初期，在加州课程审议委员会所做的努力，他非常不满当时小学教科书之平庸。

仅仅重复叙说费曼在科学与教育上的无数成就，并不足以说明他这个人的特色。正如任何读过他最专业性著作的人都知道，他的作品里外都散发着他鲜活的多彩多姿的个性。在物理学家的本职工作之余，费曼也曾把时间花在修理收音机、开保险柜、画画、跳舞、表演邦戈鼓，甚至试图翻译玛雅古文明的象形文字上。他永远对周围的世界感到好奇，是一位一切都要积极尝试的模范人物。

费曼于1988年2月15日在洛杉矶与世长辞。

前言

你们眼中的天才，是我真挚的父亲

——我和理查德·费曼在一起的生活

米歇尔·费曼

在我很小的时候，总觉得自己的老爸是个“万事通”。《全知》（*Omni*）杂志曾推崇他是当代“全世界最聪明的人”。我祖母很有幽默感，也经常以自己这个天才儿子为傲。听到这番赞词时，她夸张地张开双手，说：“如果理查德真是全世界最聪明的人，神呀！请救救我们吧！”父亲听了，哈哈大笑。

后来我年事稍长，只注意到那些我已经知道但我老爸似乎不知道的事情。他会问我一些傻问题。在我看来，问题的答案是再明显不过的事了。譬如说，“嗨！米歇尔，汤匙该摆在哪儿呀？”到了十八九岁时，我终于发现了真相：我老爸不但聪明绝顶，对生命津津乐道，而且还非常喜欢教导别人。他对生命和我们的世界，有非常风趣而且很深奥的看法，同时有很大的热忱与耐心，肯真切聆听。我怀抱无比的热忱来处理这本书，因为我想再一次亲近他。能够和老爸再度相逢是非常有意思的。我深信即使在今天，他仍然能教导我一些事理，只是猜不透会是些什么事罢了。他这家伙总是神秘兮兮的，让人摸不清底细。

这里，先列出他这一生的经历。我的父亲理查德·菲力普斯·费曼1918年生于纽约市，在皇后区的法洛克维（Far Rockaway）长大。他大

学就读于麻省理工学院，后来得到普林斯顿大学的博士学位。1942年，他和高中时期青梅竹马的恋人阿琳（Arline Greenbaum）结婚。尽管当时他的爱侣身染严重的结核病，他还是情深不舍。也在同一年，理查德获征召参加研制原子弹的“曼哈顿工程”。他受命在洛斯阿拉莫斯领导一个研究小组。后来，阿琳逝于1945年。我的父亲则在战后，担任康奈尔大学的理论物理教授。1950年，他转到加州理工学院任教，后来就一直待在这里。20世纪50年代早期，他曾经再婚，但这段婚姻并没有维持多久。1960年，他和我母亲温妮丝（Gweneth Howarth）结婚。1962年生下我哥哥卡尔（Carl），我是在1968年被收养的。

1965年，他由于独立研究量子电动力学，和施温格与朝永振一郎共同获得诺贝尔物理学奖。这是他足以称道的成就，但他一生对这项成就一直怀抱一种很复杂的矛盾心态。1986年他再度接受政府征召为国家效力。这次是参加一个特别调查委员会，负责找出航天飞机“挑战者号”失事爆炸的原因。后来他和腹部恶性肿瘤缠斗多年，于1988年去世。加州理工学院为他办的追悼会，来了数千人。对我们这些热爱他的人来说，这根本是意料中的事。主办单位事先也想到，参加的人数可能超出控制，因此特别把追悼会分两次举行，希望不要过度拥挤，也让怀念我父亲的人有机会对他表达追思。即使经过事先审慎的规划，两场追悼会都是座无虚席，挤得水泄不通。

他接受过无数次的专访，写过许多书籍和论文，演过几出舞台剧和几部纪录片，还演过一部电影。大家怀念他的，不仅是他在科学上的成就，还有他那强烈无比的好奇心，他对各种谜题掩不住的热爱，以及他诚挚拥抱生命的情怀。他一生特立独行的趣事很多。在参加原子弹研制工程时，当时很多事都被列为最高机密，安全系统非常严密。我父亲的冒险特性使他养成专找安全系统漏洞的嗜好，一时令安全主管相当头痛。他有一次在偶然的机会，为旧金山芭蕾舞团打邦戈鼓，就爱上这玩意儿了。他在40多岁时还去学邦戈鼓，后来打得非常好，还小有名气

呢。

由于人们对我父亲的钦佩与喜爱，在我成长过程中，出现了许多非常美妙又有趣的人，让我得到许多珍贵的友谊和一些很难得的机会。但身为大师的后代，除了享有某些特权之外，我也身负重大的责任。哥哥和我发现，社会上有各种各样对理查德·费曼的要求或需求，是我们必须面对的。我们竭尽所能，希望一方面能满足大众的需求，一方面又要以诚实的态度，保留他的传奇故事的真面貌，不要衍生出牵强附会的事来。我希望借着这本书，能让大家正确评断他在工作上的态度，也能把他隐藏在耀眼成就背后的人格特质显露出来。

天雷终于勾动地火

这么多年来，关于费曼这个人，有许多逸事到处流传。但我相信下面这段故事，讲的人可能最多，但真正知道实情的人一定非常少。就是我父母亲最后结成连理的过程，其中有一大部分，还是我父亲奇怪的想法与做法。我妈是英格兰人，遇上我爸时正好住在瑞士。她有个心愿，想要一面打工，一面环游世界。不知两人怎么聊起这个话题，我父亲就脱口而出，邀她到美国来当自己的管家。她回答说，可以考虑考虑。

两人分手以后，我父亲愈想愈觉得自己实在太鲁莽了。一个40岁的单身中年男子，怎么会向一个24岁的妙龄女郎，提出这种可能会令人想入非非的提议呢？因此隔天早上，我父亲又找我老妈，向她表示歉意。但出乎意料的是，这位妙龄女郎居然答应到美国来做他的真正管家。几个月之后，在父亲的好友，也是《费曼物理学讲义》的共同作者山德士（MattSands）的协助保证下，母亲就来到美国。山德士的保证非常重要，政府移民官员对一个单身中年男子为何引一位妙龄女郎入境，难免疑神疑鬼的。

在她抵达美国之前，父亲就写信给她，说：“没有你，我什么都搞

不好，这里一切乱糟糟的，快点来吧。”等她抵达之后，首先负责煮饭和清洁之类的工作，甚至还兼司机送男主人去加州理工学院上课，而我父亲总是坐在后座。两人以礼相待，彼此并没有什么罗曼蒂克的情怀。两人还分别和别人约会、交往。我父亲当时一定是脑壳有问题！

但是有一天，当他带这位小姐去考驾照的时候，忽然开窍了。忙乱之中，还走错了路，害得她几乎赶不上考试。她在仓促之中应试，居然还能及格。我父亲很快就发现，自己已经爱上了这位女管家，准备向她求婚。但随后又觉得自己太冲动了，因此他给自己一段心理准备的时间，在日历上几个月后的某一天，做个记号，暗暗决定："如果到那一天，我还是没有改变心意，就正式向她求婚。"在那一天来临的前一晚，他心情激动，简直等不及了，也没让女管家休息。时钟一敲过12点，他就提出求婚。几个月之后，他俩就踏上了红地毯。

装疯卖傻，堪称一绝

在我成长的过程中，家里的气氛一直是非常活泼、快乐的。我们常常玩各种游戏。我们常开车走很远的路，来到完全陌生的地方。碰到岔路口的时候，我们常常选那条路况最糟糕或看起来最好玩的路走。星期天上午，父亲通常会先看报。他喜欢大声读报纸，同时还开着音乐、打鼓，或是为哥哥和我讲故事，弄得吵吵闹闹的。有时候轮到他开车，送我们这两个小萝卜头去上学，他就假装迷路，载我们往加州理工学院去。小孩子们会大叫："不对！不对！不是这个方向！"他会说："好！好！是这里吗？"说着，又往另一条错的路开。"不是！不是！又错了！"我们一面喊叫，心里一面担心一定会迟到。但我们总是在最后一刻，及时赶到学校。在我父亲的很多技巧里，装傻耍宝堪称一绝，害我总以为自己聪明得可以骗他。这件事对我童年性格的塑造，影响最大。

我只是不知道，有许多年，他都被认为是最聪明的金头脑。事实上，他总是鼓励别人，像平常人一样对待他。他告诉我们的故事，总是

强调自己做的蠢事情。我们晚餐时的谈话，总是他今天又出了什么错事，例如：掉了毛衣；忘记了某一件非常重要的事；和某人交谈了半天，非常投缘，但就是想不起对方的名字。他不只在家里谈这些事，就连在外面也一样。而且他行事相当随兴，有次他参加一场学术研讨会，觉得旅馆招待的方式太花哨了，很不喜欢，就拿起手提箱，睡到房间外面的树林里去了。每次父亲讲得忘形的时候，坐在餐桌另一端的母亲，总是微笑着出声制止他："噢！理查德，好了吧。"他总是取笑自己，我们也跟着他一起开怀大笑。

这种自我解嘲的本领，我认为是使他成为好老师的关键因素。他在解释东西的时候，从不带着自我优越的态度。他具有天生的本事，可以把很难理解的复杂问题，分解到可以理解的程度。他会拿一个苹果在手里，举起来，说："你瞧，假设地球就像这个苹果……"借着这类简单的比喻和举例说明，一个本来无从下手的难题，就变成可以处理得了的问题了。

出于这种对教育工作的热爱，和一种善尽社会公民义务的责任感，20世纪60年代早期，他曾投身加州课程审议委员会，花了数不清的时间来审查小学的数学课本。1972年，还由于在物理教学上的贡献，得到厄司特奖章。这件事让他开心得不得了。10年后，加州理工学院的学友会颁给他一个杰出教学奖。他的反应是："做一件自己非常喜欢的事，还能得到大家的肯定，真令人高兴。"

他对社会教育这件事满怀信心与热忱，但总是受挫于一些官僚主义和僵化的思想。我上高中的时候，他老是教我一些抄近路的方法来做数学家庭作业，而这些方法和老师教的做法常有出入。接着，代数老师总是责备我，没有依照正确的方式去解题目。我老父亲觉得这位老师有点莫名其妙，只要能得到正确的答案，用什么方法解题有那么重要吗？因此，决定抽空到学校和老师谈谈。可惜我的代数老师并不知道我老父亲

是何方神圣，以为他是来找碴儿的白痴。两人当然不欢而散。老师到后来，还一直认为自己碰到一个对数学一窍不通的傻子。我父亲起初拼命忍耐，咬紧牙关不发一语，后来实在忍不住了，大发雷霆。第二天，我就转到别的班级去上课了。到了第二年，这种不依正统方法解题的做法，再度面临同样的困扰。后来变成由父亲在家里教我数学，我只去学校参加考试而已。

好为人师，善于沟通

在我整理老父亲信件的时候，很多像这类事情的回忆，蜂拥而至，好像还只是不久之前发生的。我记得1990年曾经看过几封父亲写的信，其中有一封我的印象特别深刻，是写给他以前的一位秘书的。他在信里感叹自己的孩子还太小，不知道要等到哪一天才有机会含饴弄孙。我稍微算了一下，他写这封信的时候，我才读高二呢。我当时还觉得这件事很好笑，想象自己在多年以后再看到这封信，一定觉得很有趣。

时间过得很快，一晃就是14年了。2004年5月，加州理工学院把父亲的档案运给我，总共有12抽屉的文件，好几千份的内容，把它们迅速浏览一遍就要花上很多时间。这些东西大部分当然是科学性的，是他和同事谈论物理学的发展、参加研讨会之类的活动，所留下来的笔记、信件、课程内容等资料。但是档案里面约有1/3并非是科学性的，这些绝大多数是信件。不仅如此，我想起家里的储藏室里还有很多有关我父亲的东西，如剪报、照片、家庭生活相片，以及私人性质的信件。

由于我父亲的书，不论是演讲集或故事，绝大部分都取材于口述的资料，全都经过编辑的精心润饰。而我父亲又经常把“我的文法不好”挂在嘴边。因此开始的时候，我不敢奢望在他写的东西里，能找出什么宝贝来。但是整理他的信件时，看着看着，我却着迷了。写这些信的人展现出思路清晰、见解透彻、体贴、谦虚、有教养、风趣而又迷人的魅力来。

我对父亲写了这么多的信深感惊讶，他不但写信给科学家，也写给一般人。海伦·涂克（Helen Tuck）是我父亲的老秘书，从20世纪60年代中期进入加州理工学院后，就一直为我父亲服务，将近30年。根据她的说法，我老爸喜欢自己回信。他的桌上永远乱七八糟，堆满一些拆过或没拆过的信。而他回信与否，完全看心情，高兴了就回回信，否则就放着不理会。但似乎他高兴的时候不多。

后来海伦说服我父亲，由她拆阅来信，再把同类的信件整理在一起，使我爸可以一次整批地回信。我爸很喜欢这个主意。海伦很快就知道，什么样子的来信会引起我父亲的兴致，很快回信。当我把父亲回信给许多寻常人的事，告诉几个我爸生前的好友时，他们都觉得有些吃惊。他干吗浪费这么多时间给陌生人写信，而不多花些时间在同事身上。我拿这个问题请教一位同在加州理工学院的父执辈。他告诉我，那是因为我父亲是个非常亲切的人。当然这是一部分原因，但我相信还有进一步的理由存在，极可能是我父亲好为人师，总想把自己知道的东西告诉别人。

在一篇他为加州理工学院《工程与科学》期刊所写的、有关教育的文章里提道："问题在于清晰的语言。要有清晰的语言，才能和别人清楚沟通某个观念。"虽然当时这段说词是为数学教科书所写的，但我相信从这段话里，我们正好能看出他是个很有效的非凡沟通者。这些信件正好证明了他卓越的沟通技巧，以及他希望别人能了解的愿望。当然，字里行间也透露出他对世界的热情与好奇心。这一点，我们从一段他写给一个年轻学子的回信中，得到最好的诠释："你不可能单靠物理，就想发展出健全的人格，生命里的其他部分也必须融合进来。"

由于哪些信要回、哪些信不回，都是他自己决定的，我认为这些回信完全代表了他个人的行事风格，同时也代表他关心哪些事情，认为哪些事须做适当的反应。有件事令我吓一跳也深受感动，原来他还写过一

封信给我的高中代数老师，为他带来的困扰致歉。

字里行间，真情流露

我决定把这些信件，基本上按照时间的先后顺序排列，只有少数例外。而调整的理由不过是注意到事件的连续性，想使事情更清楚、更有趣而已。另外，我把来信和回信放在一起，做个清楚的交代。日期最早的信件出现在1939年，是他写给他母亲，也就是我祖母的信。而在他写给第一任妻子阿琳的信中，我们可以隐约看到他早年参加原子弹研制计划时过的是什么样的生活，并且勾勒出他年轻时甜蜜浪漫的爱情故事。此外，由于当选美国国家科学院的院士和得到诺贝尔物理奖都是很重要的主题，我也把和这两件事相关的信件整理在了一起。书里其他部分的书信安排，只是想让大家充分了解他生活上的浮光掠影。

关于我父亲的书很多，我比较喜欢的是《别逗了，费曼先生！》《你干吗在乎别人怎么想》与赛克斯（Christopher Sykes）所写的《天才费曼》（*No Ordinary Genius*）。不过这些书都取材于口述的资料。但现在你看到的这本书，却是他亲笔写的信，这些信自己会说话。这些信综合起来，展现出一种前所未见的费曼的特质。在某种程度上，写信比谈话更深思熟虑，充分展现出一种自信和亲切的情绪。

虽然信件的对象是个人，但我考虑到影响个人的事件，时间往往很短暂，而这些信件所包含的意义却有深远的历史价值，因此我还是以一个完整的主题，把它们呈现出来。在我阅读了好几百封信之后，我发现有一篇东西可以代表这些信件所要传达的内涵，就是他在诺贝尔奖颁奖典礼上发表的感言，这或许也是他最动人的表白，符合很多人心目中对他的尊崇。在这篇感言中，他似乎暂时摆脱那些经常困扰他的表彰与夸耀，得到一种内心的宁静，而且对于那些加诸他身上的所有美好之物，表达出感恩的心意。这篇感言所流露出来的清澈、优雅、风趣和乐观，或许正是这本书信集最好的绪言。

我的工作已经得到普遍的认同与应有的奖赏。我的想象力一再延伸出去，设法到达一种更高层次的理解。然后突然间，我发现自己已单独站在一个全新的角落，自然界的美妙模式在眼前展开，显现出真正的宏伟庄严。这就是我的奖赏。

接着，我看到有些新的工具，让人比较容易达到这种较高的层次。我也看到有人利用这些工具，竭力发挥想象力来探索更进一步的神秘。这就是对我的肯定。

接着，我得了诺贝尔奖，各种消息如雪片飞来。据说很多人拿着报纸，爸爸告诉妈妈，先生告诉太太，小孩子奔跑着去按隔壁邻居家的门铃，嘴里嚷嚷“我早告诉过你”之类的话。这些人可能没有什么科技知识，拥有的只是爱护我和对我的信心。我接收到各种各样人的道贺，从朋友、从亲戚、从学生、从以前的老师、从我的科学家同事，甚至从陌生人。有正式的赞赏、善意的取笑、各种宴请、各样礼物。总之，是各种各样的信息以多彩多姿的方式呈现。

不过在所有这些信息中，我看到两个共同的元素。每个信息都包含这两项内涵，它们一个是喜悦，另一个是感动。（你们看，我以前常有的羞怯，现在都一扫而空了。）

我得到诺贝尔奖，让这些人有个机会，把对我的感情宣泄出来，让我也有机会知道。每一份喜悦之情虽然都相当短暂，但是有这么多人借着各种机会，一再于不同场合表达出来，终究汇聚成一种人类的长久的喜悦与快乐。而每个人所释放出来的，对彼此的感动，让我深切感受到朋友和同伴的爱。我对这种感受从来没有像今天这么深刻过。

基于此，我要特别感谢诺贝尔先生，以及很多努力把他的愿望以这种特殊方式表现出来的人。

因此，我要感谢各位，瑞典的朋友，感谢你们的荣典，感谢你们的号角，也感谢你们的君王——请原谅我的鲁莽。我终于知道，这些繁文缛节也能打开人心内的窗。由聪明而平和的人民来做这些事，也可以激发出人与人之间的好感，甚至是爱，连远在天涯的人也可以感觉到这股温馨的情怀。我为我学到这一堂课，深深感谢你们。

父亲让我们知道怎么观察这个世界，也让我知道如何开怀大笑。为了这个缘故和其他更多的事情，我深深感谢他。

序

永远的费曼

——一个活跃的科学家

费瑞斯（Timothy Ferris）

（加州大学伯克莱分校名誉教授，著有《预知宇宙纪事》）

费曼是一流的科学家，同时也非常有名。

这两种特质并不一定会同时出现在一个人身上。有些诺贝尔奖得主，同时也是家喻户晓的人物，像居里夫人（Marie Curie，1867～1934）、爱因斯坦（Albert Einstein，1879～1955）或海森伯（Werner Heisenberg，1901～1976）。但也有一些诺贝尔奖得主，在专业领域之外鲜为人知，例如：狄拉克（Paul Dirac，1902～1984）、泡利（Wolfgang Pauli，1900～1958）、钱德拉塞卡（Subrahmanyan Chandrasekhar，1910～1995）等人。这两种人到底有什么不同？为什么费曼会那么有名气？

当然，有时候外在的环境会决定该把聚光灯打在哪个人身上。虽然海森伯的“不确定性原理”对量子力学非常重要，却不是他名满天下的主要原因；他的学说正好和当时哲学与心理学对于理性的不确定性，激起强烈的共鸣，这才是关键所在。居里夫人对放射性的研究，证明女性也可以在崇高的科学圣殿和男性一较高下，取得一席之地，因此声名大

噪。而在1919年，英国庞大的科学探险队到非洲去观测日全食，果然发现星光受到太阳的引力影响而偏折，证实了爱因斯坦的广义相对论。这让大战浩劫后的世人，升起理性的、对未来和平的向往，当然也使爱因斯坦的大名人尽皆知。

但是这些因素都不能解释费曼成名的原因。他虽然参加过“曼哈顿工程”，最后制造出原子弹；但除了这件事之外，很少上报纸的头版。他的研究成果虽然在物理圈内的评价很高，但却很少人能了解，一般民众能够欣赏它的，更是凤毛麟角了。

卖力演活了他自己

费曼独特的个性是最主要的原因。就曾经有人批评他，刻意营造出一种鲜明、强烈的个性，来凸显自身形象。批评者说他：“拼命使自己显得与众不同，特别是与他的同事和朋友不同。”说他：“把自己围绕在一圈神秘的气氛里，花很多时间与精力，制造个人逸事。”不过费曼的亲密同事并不同意这种说法。

虽然费曼谈吐直率，像个布鲁克林区来的蓝领阶级，玩邦戈鼓，喜欢在上空酒吧里流连，为吧女画素描，表现出一副放浪不羁的样子。但这类行为是很常见的，每个人或多或少都会有一些。就如爱尔兰作家王尔德（Oscar Wilde）观察的，“生活的第一项义务，就是装模作样地摆出一种姿势。至于第二项义务，到现在还没有人发现”。

既然每个人都在尽力装模作样，我们不能因为费曼的书销得好，或者他是媒体的焦点，就责备他演得过分卖力。这是不公平的。

很多人和费曼之间有不同程度的关系。有的人只是略有所闻，有的人听过他几场演说，也有的人追随他的脚步在做研究。与当中一些人访谈之后，我觉得费曼的盛名和外在的环境没什么关系，也不是他特别努

力装模作样得来的。主要是来自他的核心本质——一个活跃的科学家；特别是在所有的行动上，都反映出他笃信自由、诚实和热情的科学家精神。

科学家追求自由，这是他们选择这个行业的先决条件，同时也是得到的报偿。费曼在行动上把这部分表现得淋漓尽致。1986年，他参加由美国总统任命的“挑战者号”航天飞机事故调查委员会，调查航天飞机失事的原因。在一封写回家的信里，他说自己“完全是自由的，可以不受任何阶层的任何人影响”。

后来他还在媒体面前即席表演，说明酷寒的气候使得固体燃料增力火箭上的O形橡皮环碎裂，燃料燃烧产生的热气外泄，引发爆炸，是事故的主因。这和其他专家咬文嚼字的证词完全不同。费曼已为科学实验的力量，创立了一个很独特的典范，这场即席表演可以说是20世纪的一项伟大实验。

费曼经常鼓励学生，自由自在地追求自己最感兴趣的事情，不必过分担心其他课业的要求、长辈的期许或就业的需要。当有个老朋友担心，不知道该叫自己15岁的儿子学理科还是工科，写信来求教的时候，费曼回答他：“鼓励他去做他喜欢的事。”

他也劝另一个学生，“努力找出让自己着迷的东西”，这个学生后来成为美国国家航空和航天管理局的科学家。

有位小姐写信来，说自己“研究物理但凭兴趣，从未受过专业学术训练”。费曼回信说：“必须拼命努力才行。哪个题材吸引你，你就尽可能以原创的、最不墨守成规的方式，努力钻研。”

坚定信仰科学精神

至于始终如一的诚信特质，很多著名的科学家最后都马失前蹄，落

入这个陷阱——在成为公认的权威之后，利用这种优势为自己的观点辩护。（爱因斯坦常说这个笑话："为了惩罚我蔑视权威，命运让我变成另一个权威。"）

费曼却躲过了这个命运。虽然他在几个物理学领域里，已经是很成功的导师和权威，但他一直保持近乎本能的叛逆性格。他同情那些在门墙之外的学子，更甚于座上的贤徒。他喜欢回答一些有深度的问题，享受解惑的乐趣，而不愿意追逐那些锦上添花的虚荣。他曾劝一位19岁的大学生，说："别管那些权威人士说什么，要自己想一想。"

有次，某位加州理工学院的学生在一场讨论会上，询问著名的天文学家特纳（Michael Turner），组成宇宙的那些暗物质的成分。学生问特纳，他偏爱的粒子是什么？费曼听了忍不住插嘴："你为什么要知道他偏爱什么？去想想你自己偏爱什么！"

拒绝接受简单的答案，又不肯信赖权威，是必须付出代价的。这样的人，要能接受自己的无知，愿意忍受一些模糊。这对费曼都构不成困扰。费曼说过："我可以活在疑惑和不确定当中。""活在一无所知的情况，远比知道答案但答案可能是错的，要有趣得多。"他曾经为科学下定义：科学，是相信专家是无知的。

虽然费曼一再声称，自己对政治"无知到近乎白痴"，但其实他是当代科学家中，少数能确实掌握科学对促进民主和人权的重要性的人。[另一个人是美国著名天文学家萨根（Carl Sagan，1934～1996），在他晚年的时候也掌握到这个重点。]1963年，费曼在西雅图演讲，主题是"为什么科学家要能够自由地研究这个世界？"，他说："用一种怀疑和不确定的态度来处理问题是很重要的……这种态度也可以延伸到科学以外的事务。"

科学家都知道，一种成熟的"怀疑理念"是极有价值的。就因为有这

种理念，科学的进展才有可能。而这种进展也是自由思想的果实……因此我觉得科学家有责任公开宣示这种自由思想的价值，并且教导大众，怀疑的态度没什么好怕的。有这种怀疑的态度，人类的潜力才可能发挥出来。如果你知道自己对某件事还不太确定，你就有机会改善目前的状况。我要为我们的后代子孙，要求享有这种怀疑的自由。

钟爱物理，热情洋溢

除了表现出一般人对第一流科学家所期待的自由精神与真诚之外，费曼还有一股强烈感染力的热情。就连那些不太懂科学的学生，也感受到这股热情的魅力。

享有盛誉的物理教科书《费曼物理学讲义》，对加州理工学院的大一新生来说，其实是太难了一点，课堂上很多学生，听听就潜逃了。但教室里的座位却永远是满满的，因为有很多入迷的高年级学生和教员跑进来听讲，而这套书到今天依然很畅销，部分原因是费曼在书里洋溢着他对物理学的热爱。

大多数推广科学的人，都想把科学人性化，因此常用诗歌、艺术或哲学家来装点。但费曼却反其道而行，他宁愿把科学不加掩饰地、赤裸裸地展现出来。就像让我们看一只野生动物，很自然地让他展现出天生的习性与本能。

费曼毫不掩饰自己对“科学的优越性”的看法，认为科学是研究大自然最好的方式。他写道：“实验与观察是判断某种想法对错，唯一可拍板定案的方式。科学不是一种我们紧紧追随的哲学理念，而是事实的展现……我喜欢科学，因为当你想到某个想法时，可以设计实验来检验这个想法的真伪。大自然借实验结果表示出意见，你会得到一些实质的进展。其他学问并没有相等的方法可以拿来分辨真伪。”

英国物理学家斯诺（C.P.Snow，1905～1980）认为“科学”与“人文”是两种文明，中间存在巨大的鸿沟。大师级的人物应该要建造一般人可以跨越鸿沟的桥梁。但费曼对此事不感兴趣，他坚持科学本身足以发掘所有的自然之美。或许这一点有人是不赞同的。

幽默自嘲，宽厚待人

费曼的演讲方式是即兴的，大开大合、气势逼人。费曼说过：“我不会说文绉绉的英文”，他很多内容是临场才思考的。费曼不喜欢呈现那种事先想好、细心修饰过的东西。

我曾经听过他一场很特别的演讲，好像是有关“玻色-爱因斯坦凝聚”的题目。我记得他在讲台上走来走去，一直想在最后失败之前突破困境。后来他自嘲说：“我每隔5年就讲一次这个题目，每次都觉得，只要我再多讲一次，应该就能把它解决。但这一次还是失败了，讲不下去。”

他愿意这样公开尝试，使我想起一句丹麦物理学家玻尔（Niels Bohr，1885～1962）的名言：“永远不要表现得比自己所思考的更清晰。”以及维茨萨克（Carl Friedrich von Weizsacker）对玻尔的评论：“这是我第一次看到一位物理学家，为自己的思想所苦。”

费曼还有一种强烈的特质，就是有幽默感，经常开自己的玩笑，否定自己。美国著名笑星马克士（Groucho Marx）曾经开玩笑说：“我拒绝加入那些愿意让我成为会员的俱乐部。”曾经有个筹办中的研讨会，预备降低门槛，广纳各方英雄，也邀请费曼参加。费曼回信说：“我倒想请教，为什么要邀费曼那个家伙？就我所知，他在这个领域里并没有做什么研究，也没有比别人高明的地方。如果你能再精简一下名单，只邀请这个领域的核心专家，我或许会考虑列席。”

当费曼偶尔弄错什么事的时候，他会天真地取笑自己，坦率得令人动容。“我弄错了。你因为相信我，也跟着受害。我们都运气不好。”

他常常承认自己尽是做些傻事。在后面的书信当中，就出现了很多次。

有人觉得这个当代最聪明、最能干的人，习惯于说自己很傻、懒惰和矛盾，有点矫情。但费曼也许只是想表示，自己也是凡夫俗子，并不是天纵英明。

值得一提的是，艺术或科学上的伟大成就，并不是由完人所创作出来的。那些创作者也是凡人，也和我们一样，能力都有所局限。这一点，牛顿说得很好。他说：“我就像一个在海边玩耍的小男孩……无意间捡拾起一颗比较光滑的小石子，或特别漂亮的贝壳。而真理仍像眼前的大海，等待人们去探索。”

深切了解到自己的缺点，费曼对别人的缺点表现得特别宽厚。从后面这些书信当中，我们会发现他经常为一些学艺不精的科学家解决疑难杂症。有时也回答一些“怪人”提出来的问题。只要提出问题的人是真诚的，就可以感动他回信。

其中有一封非常特别的信，是一个叫韩福特（Bernard Hanft）的人寄来的。他信里附了一个绑着线的垫圈，告诉费曼，垫圈挂起来之后会有一种自发的转动现象。他认为这是一种新的力，而且大言不惭地命名为“韩福特力”。很多科学家在接到这种信之后，大都一笑置之，或者礼貌性地回应一下就算了。但费曼不同，他如同韩福特所衷心期盼的，采取行动，亲自做了一些实验，找出原因。然后回了一封很开心的长信，说明前因后果。最后还亲切地向韩福特致意：“再度谢谢你，让我注意到这些有娱乐效果的现象。”

永远抱持怀疑的态度

这些书信当中，蕴藏着很迷人的魅力。里面有热爱、有心碎，不时还出现智慧的灵光。让我们知道写这些信件的人，毕竟是他那个时代最聪明的思想家之一。

显然，科学所发现的浩瀚宇宙，使得圣经故事更显得苍白无力。费曼曾提道："这么浩瀚的空间，这么多不同种类的动物、植物，这么多不同的原子和星球的运行，所有这些都只是上帝建造的一个舞台，只是为了观察其中一种叫作'人'的生物，在里面与善恶挣扎缠斗。这是大部分宗教的想法。为这么一场戏，这个舞台未免太大了。"

这种想法，在另一个例子里充分显现出来。1976年，加州理工学院有位教英国文学的女教授要成为终身教授，校方行政人员多方刁难，女教授一怒之下，诉诸司法，引起轩然大波。后来这位女教授终于成为加州理工学院第一位女性终身教授。《加州科技》杂志报道这件事的角度有些偏颇，于是费曼写了一封信给编者。信中，费曼脱口而出，说出了下面这段至理名言："在物理世界里，真相很少是完全清楚的，更不用说在那些和人有关的事了，怎么可能会如此清晰呢？因此，没有任何疑点的事，不可能会是事实。"

书架上可能排满了令人肃然起敬的哲学巨著，但内容未必有费曼这句即席、原创的名言来得深刻，"没有任何疑点的事，不可能会是事实"这句话也可以说总结了费曼对我们世界的一些主要观点。

在弥漫着不确定的条件当中追求真理，研究人员应该永远抱持着怀疑的态度。这就是科学的精神，也是全世界对费曼喝彩的主要原因。

只要科学能继续茁壮发展，大家就永远记得费曼。

第1部　普林斯顿|1939～1942年

为什么我要结婚？

这件事和所谓“高贵的情操”无关。

我要和阿琳结婚，因为我爱她，我要照顾她。

1939年6月，费曼从麻省理工学院毕业。他本来打算留在麻省理工学院继续念博士，但是斯莱特（Slater）教授劝他说：“你应该到外面去看看其他的世界。”于是他转到普林斯顿大学研究院去念博士。在这些早年的信件中，他向住在皇后区、法洛克维的双亲，报告生活状况。这是他初次踏入无法预期的研究生生涯和教书生涯。生活里包括了罐头食物、手头拮据和不规律的作息。

在这段时期内，盘踞在他心里的，除了他献身的物理学和早年参加的军事研究计划外，还有个美丽的年轻小姐，叫作阿琳。他们两人在1942年6月29日结婚，就在他得到博士学位之后两个星期。

这些早年的信件除了表达出一股年轻人热爱生命的心声之外，还出现了几个有趣的特质或主题，似乎隐约贯穿了费曼的一生。首先，他非常注意细节，几乎是明察秋毫。其次，他对自己所做的决定充满信心。再来就是他对时间似乎有一种矛盾的复杂心态。虽然他很详细地记下自己写信或昨晚上床的时刻，却经常表示“我忘了今天是几号”或干脆略而不提。

在这段期间，费曼刚开始踏上职业生涯的起点，信中充满了年轻人的精力与热情。他的第一篇论文也是在这个时期发表的。很巧的是，这篇投给《物理评论》（Physics Review）的论文也是书信的格式，是他和麻省理工学院的教授瓦拉塔（Manuel S.Vallarta）共同署名的，谈的是恒星对宇宙射线散射的干涉。这篇论文本身并不是什么了不起的大作，但文章里的思考过程却成为他研究工作的一种特质，也预兆了他在20世纪40年代后期的伟大论文。

费曼致母亲卢西莉（**Lucille**）|**1939**年**10**月**11**日星期二

费曼这年21岁，刚到离家100多千米的新泽西去就读普林斯顿大

学。

亲爱的老妈：

我很喜欢你说的“什么时候跑来看我”这个主意。你何不在某个星期天的早晨跳上火车？我会在这里的车站接你。不必管老爸跟不跟来，你只要注意他有没有饭馆可以去吃饭就行了。当然，我不是不喜欢和老爸碰面，不过他还不是常常自顾自地跑去出差？你只要为自己准备一次花小钱的出游就可以了。哪个星期天都行，只要事先通知我，好让我抽出空来陪你。其实，如果你担心花钱，儿子我可以请客。一定很好玩的。

雨衣收到了，很好看。不过我觉得做雨衣的人都很笨。下雨的时候，裤子下面全湿透了。我现在穿雨衣的时候，觉得它热得要命。尤其当雨停了、太阳出来的时候，更是难受。

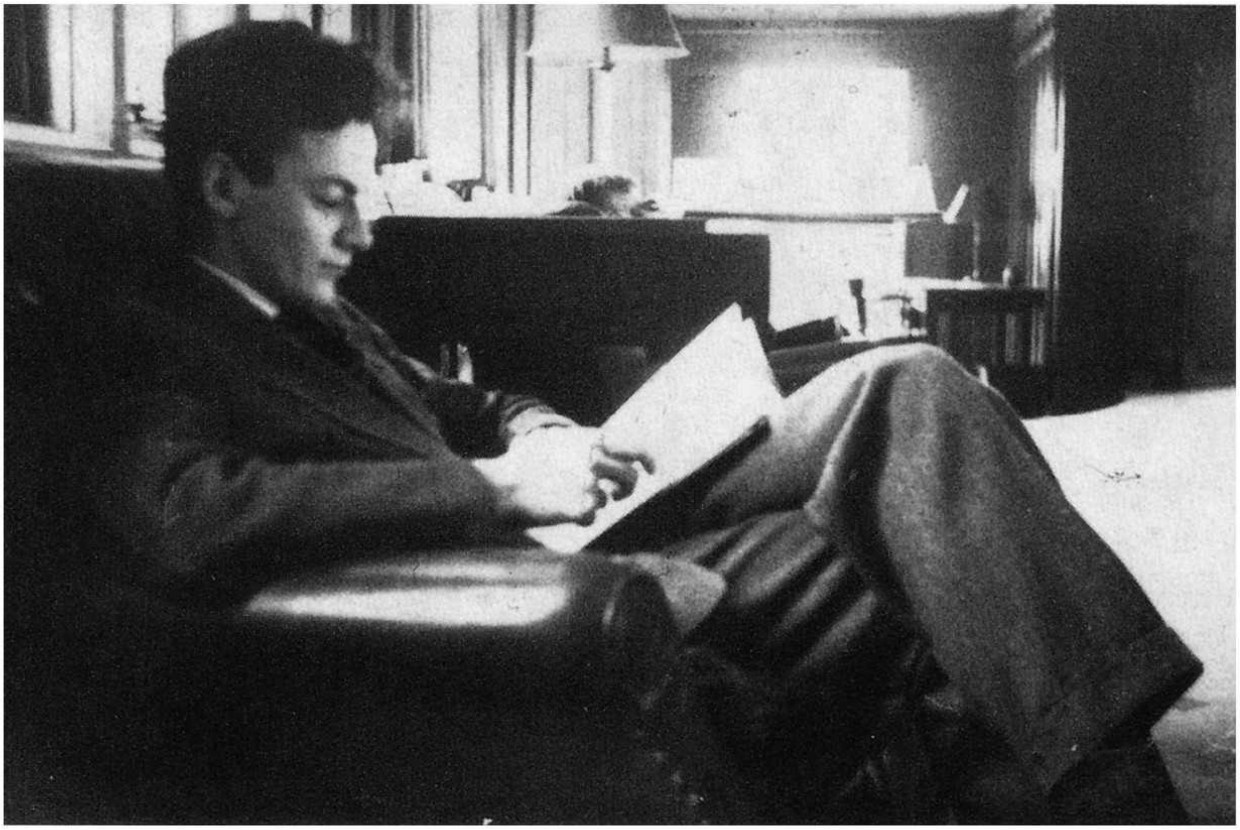
昨天晚上，惠勒（John Wheeler，1911～2008，费曼的指导教授）教授忽然有事离开学校，我只好替他上今天力学的课。我昨夜花了一整晚的时间，准备今天的课程。上课过程顺利，相当平静，是一次很不错的教学经验。我猜以后会有很多教书的机会。

一切太平无事。前两次划船我都没有再掉进水里。我想我已经掌握到划船的要领，以后应该不会再落水了。这么说是因为我的确掉下去过。

等我回家时，再把所有的趣事详细告诉你。

爱你

理查德·费曼



费曼，1939年摄于普林斯顿大学图书馆



费曼女友阿琳，摄于1939年

费曼致母亲卢西莉|**1939**年**11**月，某个星期一

亲爱的老妈：

有件最好的消息要告诉你们，可惜你已经知道了。阿琳到学校来看我。天气很糟糕，但我们度过了一段美好时光。

老妈，你一定要来看看我。虽然你在这里一再表示，很想找个机会过来。但以我对你的了解，或许这份了解很肤浅，我知道如果不一直催促你，你是一定找不出适当的机会的。我们来约个日子如何？在下封信里，就写个确定的日期。

我学校的事很平常，没有什么特别值得写的东西。

不过虽然我上星期过得很顺利，现在却碰上一个数学上的难题。我要么解决它，或者躲开它，或是找个不同的办法。但这些措施都要耗掉我很多时间。不过我忙是忙，心里却很快乐。这些正是我喜欢做的事情。我从来没想过会有一个问题要花我这么多的时间。如果一点进展也没有，我会相当懊恼。好在我已经有一些进展，其实应该说有相当进展，至少惠勒教授觉得很满意。不过到现在为止，问题还没有完全解决。我现在正开始估算，到什么时候才能把它收拾掉，并且考虑该怎么做。（上面提到的数学难题，好像一直隐隐约约地出现在我面前。）真棒！

当我说“真棒”的时候，我是认真的。不要认为我只是在安慰你们。

告诉老爸，我已经排出一个进度表来有效分配我的时间。而且我将尽可能地照表操作。不过这个进度表里有很多时段，我并没有硬性规定自己要做什么。我会利用这些时段，做我认为最必要或者最有兴趣的事，不管是惠勒教授给的题目，还是阅读气体动力论。

当你和老爸说时，顺便把这个长除法的问题告诉他。式子里的每一点，代表某个数字（任意数字），而A则代表相同的数字（例如3）。没有一个点所代表的数字是和A一样的，也就是说，如果A是3，则没有一个点会是3。看他能不能解得出来。

爱你们

理查德·费曼

费曼致母亲卢西莉|**1940**年**10**月

亲爱的老妈：

我以前从来不会这么久没有写信的。我也不知道为什么，不过我以后不会再这样子了。

非常感谢你们回我的电报。我会在星期二登记投票——星期三有征兵的投票。

“猫咪”明天会来看我。（米歇尔注：猫咪是阿琳的昵称。）

我最近选了一门生物系开的生理学课程，研究生命的过程。它是一门为研究生开的课。但我没有上过大学里的相关课程，只在假期看了一些生理学的书，也不知道自己到底吸收了多少。和我一起上课的其他三位同学在这方面都比我知道得多。但我可以听得懂上课所教的东西，而且毫不费力就跟得上进度。

你回去的那天晚上，有个同学来看我，我们把你留下来的糯米布丁和大部分的葡萄都吃了。第二天早上，我把剩下的葡萄全吃光了。

几天后的一个晚上，有两位数学家来拜访我。我们吃了一些脆饼干、花生酱、果冻，又喝了一些凤梨汁。在开罐头的时候，我费了一番手脚。因为我缺一把很好用的开罐器。

Kinetic Theory of Gases, etc.

& While you're telling Pop, give him this problem in LONG DIVISION. EACH OF THE DOTS REPRESENTS SOME DIGIT (ANY DIGIT). EACH OF THE A's REPRESENT THE SAME DIGIT (for example, a 3) NONE OF THE DOTS ARE THE SAME AS THE A (i.e., no dot can be a 3 if A is 3).

```
              . . A .
        _______________
  . A . ) . . . . A . .
          . . A A
          -------
            . . . A
              . . A
            -------
              . . . .
              . A . .
              -------
                . . . .
                . . . .
                -------
                      0
```

Love.
R.P. Feynman.

隔天，两位数学家就送了我一件礼物，居然就是一把很棒的开罐器。我觉得这是很实用的贴心礼物。

前天晚上有个朋友来拜访。我们喝了些茶，又吃了一点饼干。我现在烧开水很方便了，因为我买了一个锅盖。

有趣的事还真不少。

好啦！我得回去工作了。

爱你们

理查德·费曼

阿琳写给费曼|**1941**年**6**月**3**日

理查德甜心，我爱你。我对你的爱比我说出口的要多很多。或许我们可以规划一个更快乐的生活计划。除了我的快乐之外，也应该考虑到你的立场。我们对于类似棋局的生命游戏，可以学习的地方还很多呢。而我不要你为我牺牲任何东西。

明天，特维士医生要来看我，和我谈谈。根据伍迪医生的说法，特维士有些消息要告诉我。我怀疑他是不是想说那个腺体热的老故事。记得你好像提过，伍迪以前本来打算对我说的。其实我已经认命，预备接受我的病情了。但南恩写信来，说我有权利另外指定医生来看诊断结果，而且一定要他看看切片检查的报告。南恩也推荐了一位医生。在你这个周末回家之前，我会研究这件事。我们可以一起去看他。

我知道你正为即将提送的论文拼命工作，同时还有很多别的琐事也需要打理。对于你即将有什么东西可以发表，我开心得要命。你的努力得到应有的承认，对我是一种很特别的刺激。我希望你继续努力，对全

世界和科学界全力付出。如果我是个艺术家，我也会为艺术竭尽所能地付出一切。可惜我现在只能画些小品。

亲亲，我爱你。如果有人批评你，记得每个人都喜欢和别人有点不同。但我永远全心全意地支持你。你的快乐对我非常重要，就像我的快乐对你也很重要一样。我们所面对的问题，连亚里士多德都会感到困惑——“人类最主要的‘善’是什么？”

不论何时、何地，我永远爱你。

你的

猫咪

费曼致母亲卢西莉|**1942**年**3**月**3**日

在回信的首页上，有张小纸条，是从他母亲的来信上撕下来的。上面的记载是：你写着，我有60元

付洗衣费18元和2

付会费13元和3

母亲来访10元

结余19元

唉！理查德，你愈来愈来差劲了！我怎么算，结余都是14元。到底怎么回事？谁算术不行？

亲爱的老妈：

我来告诉你怎么回事。

如果你仔细看我的信，会发现我写的意思是：“我得到收入60元。花费的第1项是洗衣费18元，和第2项的会费13元，和第3项的母亲来访开销10元。”其中的2和3只是项次的数目，并不是开销，不必加上去。

我的265元已经入账。（我有没有告诉过你？）我花了20分钟去计算，要怎么存这笔钱，才能得到最多利息。依据计算，我最多能得到53分钱的利息。但是有趣的是，在最糟糕的情况下，我也有45分钱的利息。我认为我的时间应该不只这个价码，20分钟才多赚4分钱。（要证明我的计算能力并没有问题，我要进一步解释4分钱这个数值是怎么来的。如果我没有做任何计算就随意存入这笔钱，结果不一定最好，但也不一定最差。随机处理最可能得到的结果，是最高和最低的平均值，也就是53分钱和45分钱的平均值。因此，我最可能得到的利息是49分钱，和我花了20分钟计算所得的53分钱，相差只有4分钱。这是机遇定律的说法，8分钱变成4分钱。）

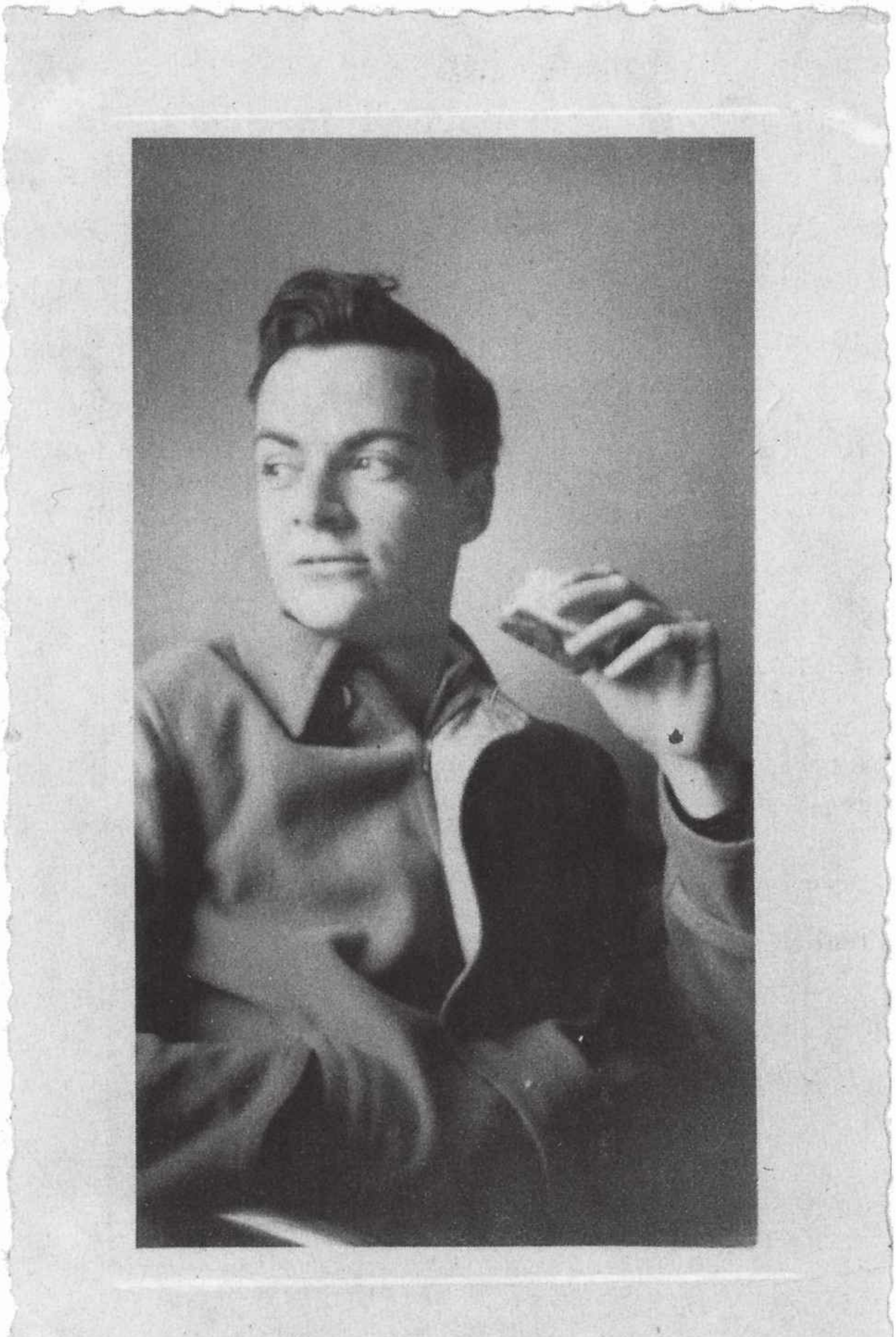
我在普林斯顿，每星期工作48小时，每20分钟大概可以赚10分钱。（好吧，说得精确些，应该是10（5/12）分钱。若是20分钟只赚10分钱，那每星期得工作50小时。）

我想，你现在可以安心地关门睡觉了。其他就没有什么事好说了。除了老爸的来信，你知道信上说的是什么事，我今天会回信给他。

爱你的

理查德

附笔：祝你结婚周年纪念日快乐，也预祝老妹琼恩生日快乐。我怕到时候给忘了。



费曼，摄于1942年

费曼致父亲梅尔维尔（**Melville**）**|1942**年**6**月**5**日

亲爱的老爸：

如你所建议，我跑去请教史迈斯（Henry De Wolf Smyth，1898～1986）教授，看看结婚对我的学术生涯会有什么影响。他表示所能想到的，只是可能有人会因为我结了婚而不想雇用我。因为他们可能认为我有了负担，就无法全心全意投入工作。不过他也表示，这对他来说完全没有任何影响。因为他尊重每个人的隐私权，尽可能地公私分明，不让个人的私生活影响到公事。他认为我结婚与否，对其他人来说可能也不会有什么差别。

不过我特别指出，阿琳罹患的是结核病，因此我接触的对象，是个活动性结核病患者，他是不是会觉得，我这种情形可能不适合教书，因为这或许有机会影响到学生。他说，他倒是没有想到这件事。但是他对结核病这种病所知有限，他会去问问大学的校医，也就是约克医师。

后来他告诉我，他去请教了约克医师。对方告诉他，只要那个女孩子是待在疗养院里，就没有什么问题，我和我的学生都没有被传染的危险。他说约克医师很想和我谈谈。因此，我今天就去见了约克医师。

医师告诉我，他听说我有些困扰，因此他想告诉我几件事情，他告诉我结核病患者最重要的事，就是心情放松，不能太过忧虑。他说这是所谓的情绪治疗。我告诉他，这个我知道，而这也是我打算结婚的原因之一。如果我娶了阿琳，和现在比起来，她的忧愁会少得多。

接着他问我，知不知道结核病的患者不能怀孕？如果她怀孕，对病情非常不利。我说我知道，这件事不会发生，不必担心。

后来，他说还有一件很重要的事必须告诉我。不知道我是不是仔细想过了，事实上，结核病患者不一定都治得好。他要了解我是不是考虑过这种最坏的情况，能不能够负起责任。

接下来，我们讨论了各种情况，如何照顾阿琳，她可能有多少时间……之类的问题。我们也谈到应该把她放在哪里，而他也提醒我，不要送到私人的疗养院去，因为太贵了。他问我，双方家长的意见如何。我告诉他，阿琳的父母倒是没有反对。但是我爸妈很担心我被传染，或者会把结核病菌带出来，传染给别人。为了这个和一些其他的理由，他们不赞成我和阿琳结婚。

他说，我应该知道，结核病虽然是一种传染病，但却不是那种很容易蔓延开来的传染病。（我问他，这是什么意思？他的意思大概是说，结核病菌并不会在空气中到处弥漫，而你也不会只因为和病人接触，就染上结核病，等等。我没有办法说得很清楚，显然是传染的难易有程度上的不同。）他告诉我，在疗养院里拜访阿琳，比走在大街上得结核病的机会还低。因为在疗养院里，他们会很小心地处理患者的唾液，而患者的废弃物都经过焚化处理。但街上很多人都漫不经心地随地吐痰。我觉得他的说法有些夸张。不过我还是觉得你们不必替我担心。这桩婚姻，不会让我和我的朋友处在很大的危险当中。

爱你

理查德·费曼

费曼致母亲卢西莉|**1942**年**6**月，日期不详

下面这封信是费曼给母亲的一封回信。在给儿子的信中，卢西莉表达出对儿子的爱，但还是列出她对费曼想娶阿琳这件事，担心的问题点。她怕阿琳的病会赔上儿子的健康与前程。她也担心阿琳的医疗费用

昂贵，非儿子所能负担（例如氧气、医师、看护等）。卢西莉认为费曼想结婚，根源在于想讨好自己所挚爱的人（“就像你以前偶然肯吃些菠菜来讨好妈咪”）。因此建议两人何不保持在“订婚”状态？费曼正式写了回信，签名的时候不但用了正式的写法，还在名字后面加上刚得到的博士衔，表示自己认真的态度。

亲爱的老妈：

我应该早点给你回信的。但近来几天，我都在忙着处理几个物理问题。现在，我刚好给卡住了，没有办法再进行下去，正好可以抽空给你回信。

我把你寄来的信也附在里面，这样一来，你就知道你担心的是什么事，而我回复的是哪一点了。

关于来信提到的第一点和第二点，我已经依照老爸的建议，去请教了史迈斯教授，另外也见了学校的校医约克医师。医师告诉我，我在疗养院里看望阿琳的时候，得结核病的概率，比走在街上还要小。我认为他有点言过其实了（详细的过程我写在那封给老爸的回信里，相信你也看得到，我就不重述了）。他说结核病虽然有传染性，但并不会轻易传染给别人。我也不太了解他的意思，就去请教沙罗医师。他告诉我，在疗养院里，患者的唾液都经过审慎的消毒处理，传染病菌的机会反而很小。但在大街上，人们往往不经意地随地吐痰。等痰液干了以后，病菌就飘在空气里。而他提到，在疗养院里，空气中反而没有结核病菌。他说近25年来，尤其是最近10年，我们对结核病这种病症的了解，已经大为增多。我一定不会危害到我的学生。史迈斯教授表示，以他个人的观点，即使我太太生病，对我的职业生涯也应该不会有任何影响。至少他就不在乎。



费曼1942年6月16日从普林斯顿大学获得博士学位

第三点是医疗费用的问题。假如没有人能付得起医疗费用，我怎么能够赚到足够的钱来支付呢？以后谁还有资格生病？要多少钱才足够？要估计这笔费用，有些地方是假设性的，我也假定我会赚到足够支付医疗费用的钱。你认为要多少钱才会足够？

第四点，我再也不满意所谓的订婚状态了。我要结婚，像个男子汉一样承担责任。

第五点，这件事对我一点都不困难。近来我忽然发现自己中午外出吃饭的时候，或等人回特伦顿大楼的时候，都会不自觉地哼起歌来。我知道这是因为我正在筹办婚礼，所以心情愉快。我认为，这是因为我现在安排的事，会使两人生活在一起，所以才格外开心。阿琳生病前，我们就经常谈起，以后一起去按门铃找结婚新居，共同安排婚礼的事。我当时就对这事充满了期待。我想，现在正是这种心情。

我并不担心阿琳的父母亲。如果他们认为我不会善待他们的女儿，让他们现在去说吧。如果他们以后才懊恼我做的错事，那是以后的事了，我一点也不会觉得困扰。你说我对第四点的事情没有经验，这点我承认。倒是没有什么话好说的。

第六点，这里所提的花费数字，只是一种猜测。但我愿意赌一赌。我认为我会赚到足够开销的钱。如果办不到，我也知道自己将会很惨，但我认了。

第七点，明年我在普林斯顿必定会有一份工作。如果我必须到别的地方去，我会到最需要我的地方去。

第八点，我要结婚，而且我要让心爱的人达成心愿。这样，在为别人达成心愿的同时，我也达成我的心愿。这是多么神圣美妙的事。你怎

么能用吃菠菜来类比？另外，你也误会我小时候吃菠菜的动机了。我只是怕你对我发怒，我可一点也不爱吃菠菜。

第九点，这一项我们已经讨论过了，就是结婚会不会比订婚更糟糕。我当然不以为然。

第十点，我很抱歉这件事让你感到难过。但我想你很快会释怀的。

为什么我要结婚？

这件事和所谓“高贵的情操”无关。我也不觉得这件事是这个时候唯一正确、诚实和体面的事情。我也不是为了在乎5年前的誓言，而不愿意反悔。其实情况正好相反。这些想法都是很荒谬的。这5年来所发生的事情，如果不是我喜欢且甘之如饴的话，我早就逃之夭夭了，才不在乎有没有海誓山盟呢。速度之快，恐怕会让你扭到脖子。我不会蠢到让一个过去的誓言绑住，把未来所有的生活都赔上去。情形正好相反。

要结婚这个决定，是现在的决定，而不是5年前的决定。

我要和阿琳结婚，因为我爱她，也就是说，我要照顾她。事情就是这么简单。我爱她，我要照顾她。

我顾虑的事情是，为了照顾自己心爱的姑娘，到底有多重的责任，有什么不确定因素？

当然，我对这个世界还是有别的期望与目标，并不是只有阿琳一个人而已。我要贡献全部心力，为物理学付出。这件事在我心中的分量，甚至超过我对阿琳的爱。

很幸运的是，在我看来，这两件事并没有什么冲突，我应该可以同时做得很好。和阿琳结婚对我以后的主要工作，应该没有影响。如果

有，也一定是很轻微的。很可能由于快乐的婚姻，以及在妻子持续的鼓励与包容下，我会有更大的学术成就也说不定。不过有鉴于阿琳以前对我的物理工作并没有什么影响，我想将来也不会有太大的帮助就是了。

我觉得既可以继续从事喜欢的工作，又能享受着照顾爱侣的喜悦，一定心满意足。因此我准备近日内就结婚。

我是不是把所有事情都说清楚、讲明白了？

你儿子

理查德·费曼博士

附笔：有一点我应该特别提出来。我知道自己的结婚是一场冒险，有可能让我陷入许多不同的困境里。我和猫咪谈过很多情况，觉得我们陷入重大危机的机会很小，但得到的喜悦却大得多。当然，这只是我们讨论过的那些情况。我们也曾仔细分析过每个情况的程度，只是细节太琐碎了，我没有告诉你们，只把评估的结论说出来，就是我们认为碰到麻烦的机会很低。但是你们都觉得我碰上大麻烦的机会很高。因此我衷心地期盼，你们能够把想到的陷阱说出来告诉我，因为有些东西挂一漏万，我也生怕自己忽略了哪个重要因素。你已写出一些我以前没想到的事。不过仔细思索之后，我们还是觉得值得冒这个风险。我们母子间的差异在于，我们的背景、经验和观点都不一样。你别担心因为清楚地表达立场，会使我们母子之间愈来愈疏远。你不会的。我只希望自己不顾你们的反对，执意要结婚，不会伤害我们的母子之情。老实说，你和我对这件事的判断差异很大，但我觉得你的判断是错的。我诚挚地相信，猫咪和我婚后会很快乐，而没有人受到伤害。

理查德·费曼

费曼致罗宾斯（**Dan Robbins**）**|1942**年**6**月**24**日

罗宾斯是费曼在大学的兄弟会认识的弟兄。信里谈到的计划，是早期制造原子弹的竞赛。在此之前，费曼接到一封由芝加哥大学的研究团队寄来的信，邀请他参加一个不能明说的研究计划，只描述这个计划是“一种新军事应用的研究发展工作”。不过他们保证，这个计划对第二次世界大战有决定性的影响。后来费曼回忆，威尔逊（Robert Wilson，1914～2000）教授如何跑到他在普林斯顿的办公室来，鼓励他参加这个计划。不久之后他就签名加入了。（请参阅《别逗了，费曼先生！》的《原子弹外传》一章。）

亲爱的丹尼：

我最近写了一封信给兄弟会，打听你的下落。我也打电话到你家去找你。我和伯母说了话，她告诉我，你已经在麻省理工学院，为一项防御性的计划工作。

我之所以不厌其烦地一再找你，是因为在我们普林斯顿的研究团队里，有一项工作对你非常适合。

但有个很令人困扰的问题是，我不能对你详细描述这项工作的细节，也不能说明白为什么需要你。因此我很难解释为什么它对你是个好机会。我只能含糊其词地，用一些很平常的语句。

（以上的词句，是我从另一封原来预备寄给你的信上节录过来的。我没有把那封信寄出去，因为我在信上把工作描述得太清楚了。看到信的人很可能间接猜出他们在做什么，而且八九不离十。我不想重新写一封信，怕自己不小心又犯了同样的错。）

我只能说，我现在找到一件非常令人兴奋的工作，而且研究结果会有非常重大的影响。你真的会觉得自己是站在正义的一边，而且你希望自己的研究成果能及时派上用场。所谓的及时，就是比对方先做出成果

来。

我做的，大部分是理论计算工作。在各种不同的情况下，会发生什么事，以及这部分或那部分，要怎么做效果最好。我不知道你比较喜欢理论工作还是实验工作，但你一定能在这个计划里发挥所长。我们也会重视你所有的想法，以及所有的能力。在这里，我们需要更多的想法。我非常希望你能来。

但是在做决定的时候，我看得出来你有许多问题要考虑，因为你已经在为一项防御计划工作。我想说的是，应该做那些自己觉得对战争最有影响、最重要的事。我听你母亲说，好像你对麻省理工的工作环境已经感到很厌倦。或许你会比较喜欢这里。我很希望见到你，和你一起工作。不过我不认为这种私人情谊应该列入考虑。重要的是你的专长应该要能发挥得淋漓尽致。我知道你一定很难决定，因为我既不能告诉你这里做的是什么事，你也不知道自己在什么地方服务最能有贡献。如果你有兴趣，觉得换换环境也不错，那我们可以稍做安排，找一个熟悉两边工作的人给你，让你听听他的意见。

你近来的生活情况如何？

我最近几天内，就要和青梅竹马的阿琳结婚了。我也刚得到博士学位。另外，我得到威斯康星大学访问助理教授的一年聘书，并且获准无薪借调军方一年，参加他们的军事研究计划。听起来似乎多此一举，不过一旦军方的工作突然中断，我至少还有威斯康星大学可待。

你能否尽早回信？

好兄弟

费曼

※米歇尔注：罗宾斯后来没有接受这项工作邀请。他接受了美国海军的一项任务。

费曼致母亲卢西莉|**1942**年，日期不明

寄信地址是普林斯顿大学帕尔默物理实验室（Palmer Physical Laboratory）。

亲爱的老妈：

我没有空写很长的信。阿琳要我写信给你和她母亲，为她这星期没有回你们的信致歉。她最近身体很不舒服。你能不能为我们打电话给她妈妈，致意并转达一下？

你要我在信里，谈谈自己和工作的情况。我直到目前为止，写信的内容不就是你要的东西吗？至少我的感觉是如此。其他的时间里，生活都乏善可陈。

不过这个星期不太一样。我们的计划里有个特别重要的问题要解决，而这些问题又非常有意思，因此我做得很卖力。我在一夜好睡之后，大约是在上午10点30分醒来，然后工作到深夜12点30分或1点，然后回到床上去睡觉。当然，中间会花2小时左右的时间去用餐。我不吃早餐，但在上床之前会吃点宵夜。我这样子持续干活已经有四五天了。通常我不会像最近这么拼命工作，每天的工作时间都超过8小时。

每天日子的唯一不同之处是，有时候我出去吃午饭的时候，会带些衣服送去洗。而在另一天我吃完午饭回来的时候，会把洗好的衣服带回来。如此而已。

看到我这么晚睡，我猜你们一定会嘀咕我。但你们别忘了法兰西丝表姐在我们家里，你们曾搞到凌晨4点才回来的事。记得以前我只要和

阿琳约会，稍微晚点回家，你（或至少是老爸，我记不得你们两个人是谁搬出一堆大道理来训我）常说，不认为阿琳的父母会允许女儿在外面待到这么晚。但是当表姐来纽约做客的时候，她不也是你们的责任吗？也许我不该对你们提法兰西丝的事，免得你们或她生气。

老妹应该会是下一个，我猜她以后一定会常常天快亮才回家。你可不能数落她，她只是对天文学特别有兴趣。白天又没有什么星星可以看，她只好多利用晚上来观察星星。哪天等你也去当红十字会的夜间护士或夜班助理时，就会知道有很多人是必须深夜工作的。

到时候全家唯一早睡早起、能在白天欣赏青山绿水的，只剩老爸一个人。等他哪个周六想回家休息时，发现全家晚上都要出去忙，一定很有趣。他很可能也会跑出去，睡在海滩上呢。

我最好在此停笔，现在已经凌晨1点45分了。

爱你们每个人。



1942年6月29日，费曼博士和阿琳结婚

第2部　洛斯阿拉莫斯|1943～1945年

我爱我太太，但我太太已经羽化升天了。

附笔：原谅我没有寄出这封信。我不知道你的新地址啊。

由几个研究单位进行了数个月初步的研究工作之后，“曼哈顿工程”的主要负责人奥本海默（J.Robert Oppenheimer，1904～1967）在1943年初，决定把分散在各地的研究工作整合在一起。费曼当时24岁，也是第一波要从普林斯顿搬到新墨西哥州洛斯阿拉莫斯的物理学家。他就开始做搬家的计划。洛斯阿拉莫斯的设施位于一个荒芜的台地上，还没有全部完工。费曼很少离家远行，因此这次的迁居，对他可说是一件大事。

由这些从洛斯阿拉莫斯寄出来的信件中，我们看到费曼用美妙的笔调，直接而清晰地描述了四周的景色。他几乎每天都写一封信给妻子阿琳，因此，这些信成了他这段时期的日记。从这些信，我们也看到他常常在办公室耍宝（取笑自己，为洛斯阿拉莫斯里那些聪明绝顶的人示范“数字的一些有趣特性”，对警卫指出围墙上的破洞，等等），并且让我们感受到一个朴实的年轻人多么辛勤地工作。另一方面，躺在阿布奎基（Albuquerque）疗养院病床上的阿琳，也是忠诚的通信者。从她书信数目的变少，我们也能体会出她的病情转剧。

费曼致加州大学伯克莱分校的史蒂文生（**J.H.Stevenson**）|（**1943**年**3**月**6**日）

亲爱的史蒂文生先生：

在你的第一封备忘录里，你要求我先别急着问有关搬家和新环境的居住情况，等接到你的第二封备忘录再说。但是剩下的时间已经不多了，而你的第二封备忘录又迟迟没来。而且我相当确定，在你的来信里，不会提到我现在担心的问题。因此，我很冒昧地写出这封信。

我太太是个活动性结核病患者，需要长期卧床疗养。也因为这样子，奥本海默教授和我讨论，我是不是必须迁到洛斯阿拉莫斯时，我们

为这件事考虑了很久。最后，他认为一定有办法安顿阿琳，让我迁往洛斯阿拉莫斯。

现在情况很明显，第一个办法是，阿琳住在营区的医院里，有病床可以休息，就像一般住院患者一样。她已不需要特殊的照料，也不需要特别的仪器，我想只是偶尔需要照个X光什么的。第二个办法是，她住进附近的一家疗养院。那么，我就必须能够离开营区去看她，至少每星期看一次。

当然，在知道她要住在哪里、能不能有妥善安排之前，我不想搬家。不过另一方面，我也希望能尽量和普林斯顿的其他同事一起行动，以免造成大家的不便。

我太太和我，都非常希望她能待在营区的医院里（也就是第一方案），如果能这样安排，是最好的。这样也没有什么特别的经济负担。

你的诚挚朋友

费曼

费曼致史蒂文生|**1943**年**3**月**15**日

当时，史蒂文生已经回信表示，阿琳有三个地方可住。第一，离营区50千米的一个小医院。第二，离营区160千米的阿布奎基有个疗养院。第三，离营区30千米，有个观光牧场。由于营区还在建设，史蒂文生建议阿琳住远些，直到夏天将尽，一切稍就绪再说。他最后说：“我担保你既可以照顾你太太，让她舒服地过日子，又不会离营区太远。”至于每星期去看太太一次，更是不成问题。

亲爱的史蒂文生博士：

我非常感谢你3月10号的来信，谈到安顿我太太的事。我们对于你建议的可能地点都非常喜欢，也非常希望能尽快过去看看。

由于我太太是开放性的病患，因此观光牧场是不可能的（事实上，任何没有医生常驻的地方都不可行）。至于其他两个可能地点，听起来都很不错。

下面这个做法，可能可以让我们省点时间，也省点钱，或许还减少一些麻烦。就是我到营区来的时候，可以带我太太一起来，让她先停留在你建议的某个可能地点。我们可以看看那是不是一个适当的落脚处。接着我们再到另一个地点去看看。如果我们觉得那个地方好一些，我再把太太搬过去。80千米左右的这种短程旅行，我太太还能接受。

如果你觉得这不是个好办法，请让我知道。我也可以如你所建议的，先一个人到营区来看看环境。

另外，你能不能为我们安排一下抵达后的行程或交通问题？我们计划在3月30日星期二的中午12：01分搭乘圣塔菲线的火车，由芝加哥出发。请问我们应该在哪一站下车比较好？而且在下车之后，要怎么样才能到医院去（我们可以搭汽车、计程车、火车、救护车，甚至小货车，但最好不要搭巴士）。如果交通的安排必须先付押金，或是医院要押金，我会寄给你。如果没有地方肯暂时收容患者，你可以向对方保证，我们可以先租它一段时间，譬如2个月。

如果需要的话，我相信奥伦太太可以帮助你。但如果你有困难，没有办法做任何安排，我也可以如你所建议的，先只身前往。（米歇尔注：奥伦太太是保罗·奥伦的夫人。奥伦是费曼的朋友，以前也是普林斯顿大学惠勒教授的助理。）

希望不会带给你太多的麻烦。我太太和我对你的帮助都表示衷心感

谢。

诚挚的祝福

理查德·费曼

阿琳写给费曼|**1943**年**3**月**26**日

3天了！

亲爱的理查德，如果你知道我们这趟火车之旅，带给我多大的快乐就好了。自从我们结婚以来，这一直是我期待而且向往的事情。它对我们两人都意义重大。亲爱的，我真的爱死你了。我愿意像一般深爱丈夫的太太，为他做一切事情。现在我逮到机会了，而我们的未来更充满了美妙，亲爱的，等我们有了自己的家和家庭。这是多么值得期待与奋斗的事情。

亲亲，我明天就能见到你了。但你知道这股情绪多么难以压抑，只剩一天，我既快乐又兴奋，有一种疯狂喜悦的情绪。我吃饭、睡觉都在想你。想着我们的生命、我们的爱情和我们的婚姻。想着我们以后的美妙日子，我们每天可以如何如何，我们会想什么，说什么，做什么，我要永远贴近你，甜心，我要成为你思想、愿望和野心的一部分。你是如此接近我，而且愈来愈接近。我为你而活，也为我们可以一起吃甜甜圈的日子而活。所有这些我们一起计划、可以共同分享的小事，都是我生命的源泉。像是挂壁毯，在户外帐篷里露营，和你的学生一起喝茶，在冬天燃着木柴的壁炉前下棋，在夏天淋浴以及星期天早上赖在床上看漫画。亲爱的，我可以无止境地沉醉下去。我们的生命里，还有这么多的事可以一起分享和探索，我们时时刻刻都要在一起。有你相伴，这些事永远是不嫌多的。

亲爱的，你离我这么远，我该如何告诉你，你对我是多么的重要

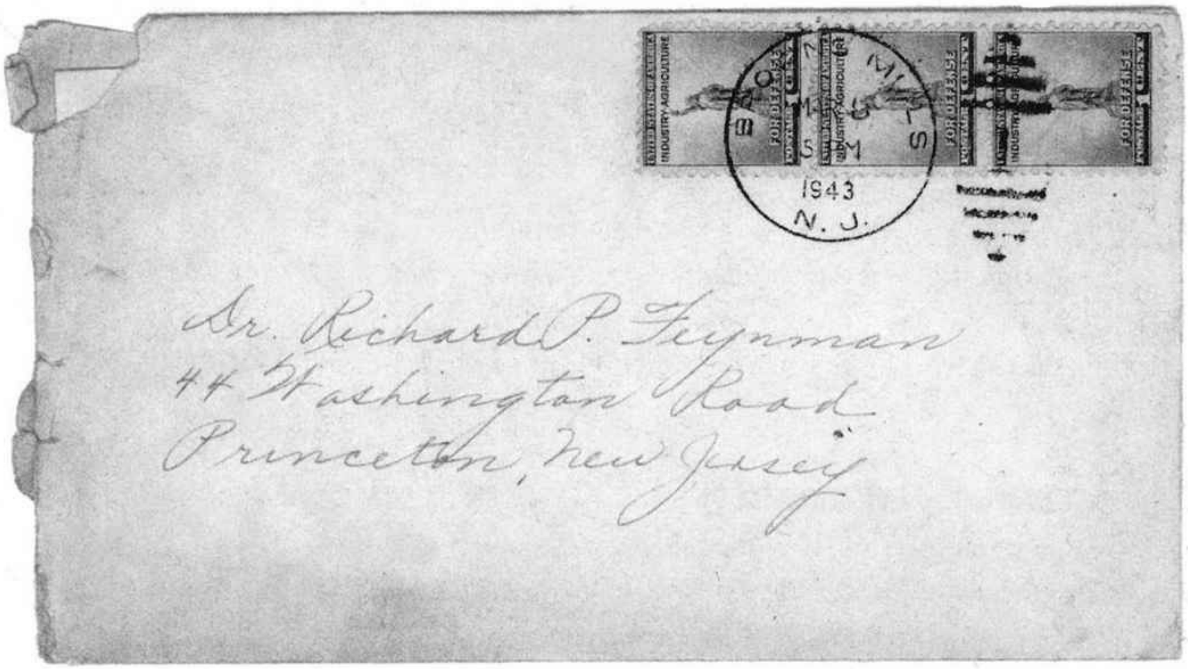
呢？如果明天能够立刻降临，就太好了。我要感觉你温暖的脸庞靠近我，我要享受你温柔的拥抱。你的接近让我如此充实。我爱你甜心，全心全意，用我整个身体与灵魂。我要像从前一样，始终在你身旁。现在我们的爱和我们的生活，甚至比从前更丰富。我们真的已经彼此相属，全世界都知道。我为你感到骄傲。身为你太太，我又高兴又自豪。你是个完美的丈夫和情人，我拥有许多美好的记忆，但我们很快就会在一起，虽然时间短暂。

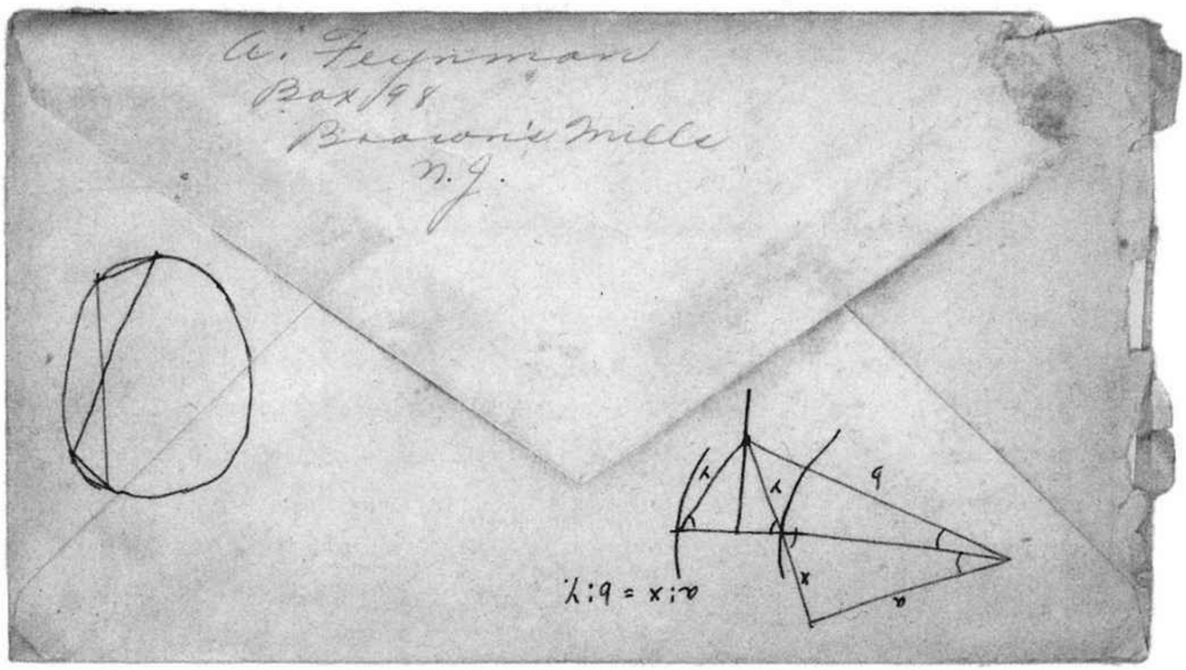
亲爱的，我有个预感，我们不会这样分开。彼此活在记忆里，实在太久了。我真的相信（而且会实现它），我们很快就会有自己的家。我们将可以做任何想做的事情。让我们重新共同努力，其实只要延续目前的作为就够了。亲爱的，我不能把你逼得太厉害了。我需要你的支持和你的鼓励。因为你是唯一值得我全心全力付出一切的根由。我一定要活在爱里！

快点来吧！我爱你，我要你。

你珍爱、心爱又可爱的太太和甜心。

猫咪，从前到以后都永远深爱你的人。





费曼致母亲卢西莉|**1943**年**6**月**24**日

这是第一封由洛斯阿拉莫斯写给母亲的信。

亲爱的老妈：

前几天我生病，躺在床上。但现在我已经好起来，又开始工作了。我感冒了，我想是因为这里天气太冷，又冷了很久，使我的抵抗力降低。我一定要把身体状况维持在超水准程度才行。因此，我就卧床静养，直到完全好起来。很快的，我又生龙活虎了。当我摆脱掉感冒之后，我的美食家的胃口不但恢复到平时的水准，而且还放大了不少。直到我警觉到自己的肠胃可能受不了。为此，我又在床上多躺了几天，到现在还没有完全解除肠胃的毛病。

不管如何，我已经开始工作了。现在我还觉得有点疲倦，因此每次解出一个方程式，我会坐下来休息一下，不像我以前，喜欢走来走去，从不休息。当我下床的时候（我在病床上躺了三天半），发现营区大概有一半人都曾经拉肚子，这很可能是饮水的问题。而我在感冒期间又猛喝水。因此，我是同时碰上两场病，又感冒又腹泻。

我很早就想要生一场病了，果然如我所料，很好玩。别人替我把三餐送到床上来，还有很多人来探病。我有个收音机（那是猫咪的，我拿到办公室来修理，正好派上用场），时间很好打发。而且我正好有时间，把一本买来的化学工程的书看一看。我从“流体输送”看到“蒸馏”。这本书相当有趣，我现在是个够格的化学工程师了。我有很多访客，他们分别带了很多东西来给我。有三个橘子、一个苹果、一包饼干、一些果冻、饮水、巧克力、《读者文摘》、书籍等，还告诉我一些发生在实验室里的趣事。很有意思的事情是，所有来探病的小姐都会带些东西，但是来探病的男生都空手而来。

这些日子我也收到你寄来的梅子干，但是我肠胃正好不行，所以还没有吃。等我肚子好一点，小肠的状况也恢复到正常水准，我会吃这些梅子干的。现在我的肠胃还在闹罢工。

我在附近做了几趟短程旅行，也爬了几座小山头，但是没有什么特别值得报告的。

我想到老爸，也知道他已经厌倦这样到处跑来跑去。你说想叫他退休，并且把可能会发生的问题统统告诉我，除了你们到底存了多少养老金之外。还有，如果他真的退休了，你们在经济上会有多大的损失，等等。

我有个好主意，而且这件事对我们的国家还有点好处。我们这里有个采购部门，还出过不少错（有个家伙还遭到起诉）。虽然我对那个部门的工作不太熟悉，但似乎他们很想要一个像老爸这样有丰富贸易经验的人。我认为，老爸一定会喜欢这个工作的。这个工作不必或很少需要到处跑来跑去。交易都是利用电话或电报来进行的。他大部分时间可以避开纷纷扰扰的交易世界，主要是和学术界的人混在一起。他一定觉得很开心。另外，这职务的收入并不十分丰厚。现在到处物资缺乏，买东西并不是那么容易。而且这里的人对自己申购的东西又急得要命。有些东西他可能不熟悉，但这应该难不倒他。这项采购工作对我们整个计划非常重要，严格来说，比我为结束战争所做的工作还更要紧。他有没有兴趣？不过我对于替他争取这个职务，也不太有把握。

理查德·费曼

费曼致母亲卢西莉|**1943**年**10**月**27**日

由于研究计划的主持人，想对营区的真正住址保密，不让它曝光，因此洛斯阿拉莫斯发出来的信件都不能标上地点。阿琳马上为费曼订制一些印上漂亮书写体的圣塔菲邮政信箱号码的信纸，给费曼用。

理查德·费曼博士

邮政信箱1663号

新墨西哥州，圣塔菲

亲爱的老妈：

我接到你寄来的包裹。根据你的信来看，它应该就是那些手工饼干。我还没有打开，就先给你写信。我看包裹很小，就不愿意在办公室打开。我有点小气，舍不得请同事吃，要等到回自己的房间才打开它。真是谢谢你。但我好久没有写信给你了，实在不配接受这么好的东西。

你是个营养专家，可能对下面这则故事感兴趣。在《科学》期刊里（这是美国科学促进协会发行的刊物）有篇文章说，俄国的科学家发现，松针是很好的抗坏血酸（就是能抵抗坏血病的维生素C）的来源。但是在这之后，就有一系列的文章证明，这件事并不是俄国人首先发现的。有篇文章说，在1563年，有些法国陆军染患严重的坏血病，负责的军官就问印第安人有没有什么办法。他们告诉这位军官去煮些松针茶。军官也照做了，把整棵树的松针都拿来煮茶给士兵喝，他们果然都好起来。几年之后，另一批军人也碰上同样的麻烦，但是当地原先的印第安人已经迁离了，后来迁入的印地安人指不出是哪一种树来。另外有篇文章提到一些17世纪的人，在海上航行的时候带着松针一起上船。另外有些故事提到更近的事（也就是18世纪），是一些有科学根据的、用松针煮茶的故事，里面还详尽描述了它的滋味。总而言之，俄国人的松针茶并不算什么新鲜事。

因此，我当然也煮了松针茶来试试看，就在星期天去看“猫咪”的时候。我们俩都不缺维生素C，只是我的好奇心已经给勾起来了。味道还可以，既不太美妙，也不太糟糕。大概和一般的茶喝起来感觉差不多，只是风味不同。先把松针弄碎，放进滚水里，浸泡一会儿。可以热热地喝，也可以冰起来放点柠檬来喝。很便宜，喝起来松针的味道还蛮浓的。

阿琳写给费曼|**1943**年**11**月**23**日星期二晚上

亲爱的老公，今天和你一起散步的感觉真好。和你在一起，我永远都是这种感觉。知道你想念我和“史诺哥”，我非常开心。这样，我们在一起的时光似乎也变得更甜蜜了。（米歇尔注：史诺哥是个绒毛的玩具象，请看37页的照片。）

我也想念你，因此当你出现在眼前的时候，我感觉自己好像是置身在天堂里。我觉得自己飘在云端，但其实只是你拥抱着我，轻声细语地对我说话。我是如此爱你，我深信我俩的感觉是相通的，因此不必费力去描述它。当我们靠在一起休息，我的头枕在你肩上，这股幸福的感觉最强烈，总是让我热泪盈眶（就像今天这样）。这实在太美好了。你是这么完美的丈夫，这么有耐心，这么体谅，又这么爱我，真是让我满怀喜悦。

我写到这里，不禁微笑起来，同时两滴眼泪夺眶而出。你当然知道我是喜极而泣。我永远无止境地迷恋着你，你的一切，对我而言都是如此的特别，如此的美好。你的腿强健有力，你又是如此的高大英挺，只要一伸手，就可以打开门上的气窗，不必搬小凳子。而且有时候当你哄我的时候，会用哄小婴儿般的声音说话。这些我全部非常喜欢，强壮的你和装傻的你。

我喜欢你想念我，也很高兴我的病况没有让你意志消沉。亲爱的，你真是坚强，使我也跟着坚强起来。我最亲爱的老公，不管从哪方面来看，你都是最棒的。亲亲，我喜欢你的坚强。但你偶尔依赖我，也让我很开心（就像你要求我，提醒你去看医生，并且照顾你）。

我认为这种相依相守的关系是很重要的，我也很高兴自己能帮助

你。希望你不要太过坚强或太过独立，偶尔也想念一下我，我爱这种感觉，我更深爱你。

永远是你的妻子

猫咪

费曼致母亲卢西莉|**1943**年**12**月**10**日

亲爱的老妈：

这附近最近刚下过一场大雪。在雪里，什么东西看起来都变得很漂亮。四周全是白雪覆盖的山峰。西边10多千米之外，是一些比较小的山岭。东边则在50千米之外，有一些崇山峻岭，例如楚切斯山脉。昨晚在夜光下，一切看起来都非常美丽。在月光下，云很低，只挂在西边山岭的高度。而你看到的是，在云上和云下，都是山峰。所有的东西都很亮，在月光之下都很朦胧，在云影里若隐若现。而近处，此起彼落地闪着的探照灯或一些隐约的街灯。这种景色，比圣诞卡还漂亮。你看，我的口气像不像一个唯美主义者？



阿琳、绒毛玩具象史诺哥和费曼，与他们共同拥有的第一棵圣诞树，摄于1943年12月

镇议会的选举很快就要举行。我想我一定要努力，设法避免连任。当然担任这项职务是个很好的经验，但是它占去我太多的时间了，而且麻烦事还不少。我认为应该要换人做做看。

猫咪在预备圣诞卡和其他过节有关的事。她画了一大幅卡通，上面有各种各样有关圣诞节的东西。她甚至装饰圣诞树，准备圣诞礼物等。我不知道她是从哪里弄来这些东西的，我并没有给她很多钱。真是可怜的女孩。根据计划，至少我们会有一棵装饰齐全的圣诞树。我们的圣诞节会过得很开心。

我这个周末要去大肆采购一番，清单是老婆大人开出来的。

还有，请你不要把我的地址给任何人。这里驻扎了一批陆军部队，他们对我们这些人在做什么事完全不了解，军官们也一样。我并不打算见任何人。司特普尔先生若能来，我会想见他，也会尽一切努力得到会

客许可。我可能会成功。但是千万别把我的住址给别人。如果有人跑来，我可能会令他们很失望的。

爱你的

理查德

费曼致母亲卢西莉|**1944**年**2**月**7**日星期一

亲爱的老妈：

我设立了一套新的工作规划，把原来摆在星期二做的例行工作，移到星期一来做。这样在星期一的晚餐和镇议会会议之间，我大约有一个小时的空当（这个星期，这个时段有一半已经让公事给占掉了），我可以利用这个空当来写信。

你两次问起阿琳的事。我在上一封信没有回答，是因为有些事我在等着请教医师。但是这个星期天我又错过了，因此我就不再等着问他了。情况大致是这样的：

第一，她咳嗽的情况好多了，大概每天只剩3次。因此，她已经停用可待因（codeine，由吗啡制得，可镇咳止痛）。

第二，她体重略增，但是增加率并不太平均，大约每周一磅。有的时候没有增加，有的时候增加两磅。

第三，她的感觉一般来说很不错，食量有增加，几乎什么都能消化。

第四，她的沉降率在新泽西的时候是18，现在是23。这点并不好。沉降率的高低代表传染性的大小，数值愈高，传染性愈大。但是到28左右还是正常的范围。

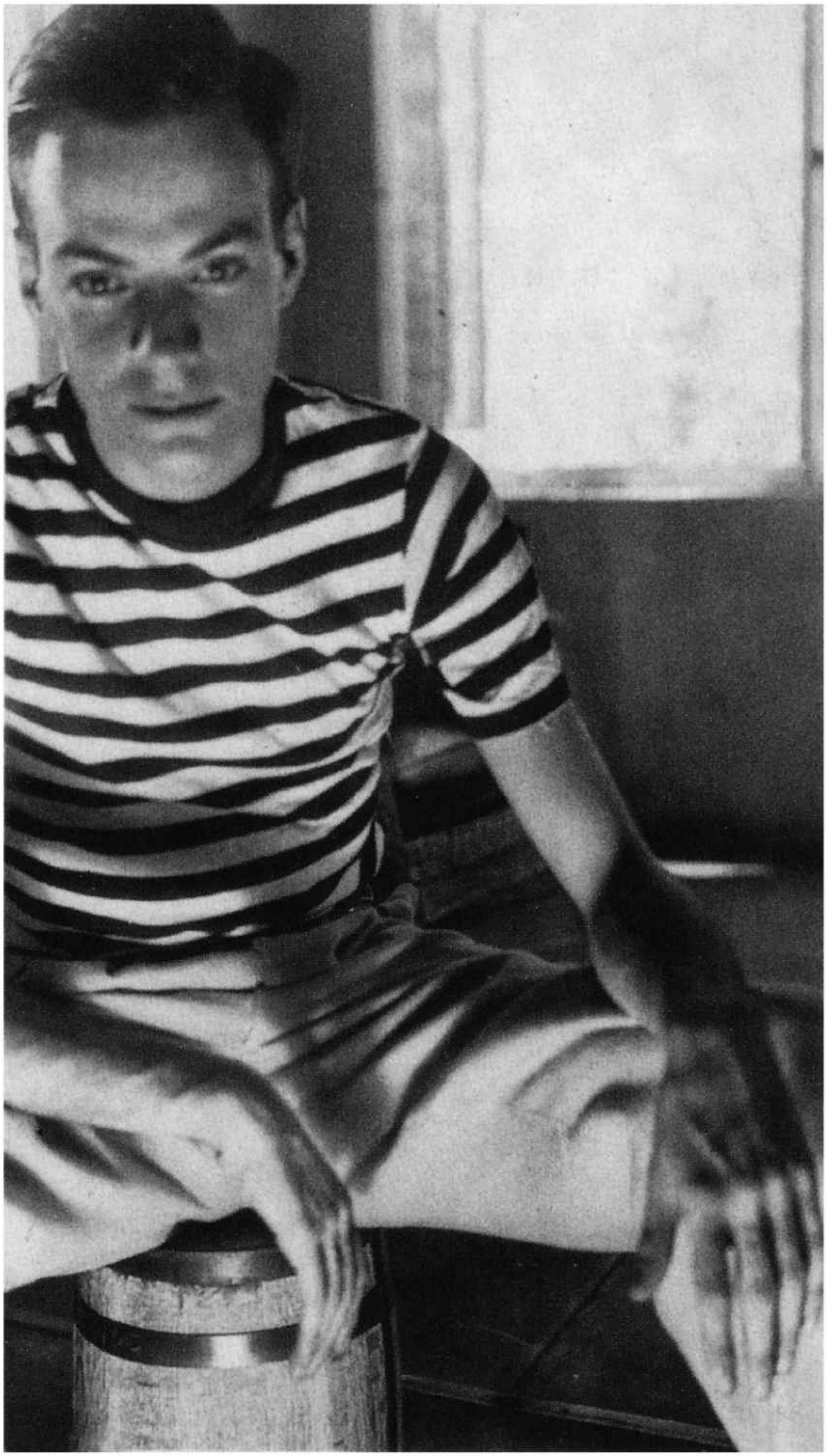
第五，痰测试以前是X，现在是I，代表病菌增加了。

第六，最近没有照X光片。

第七，这一个月来，体温都很正常。我不知道她的脉搏是多少。

上面几项除了第四、第五之外，其他五项都是比较好的。但第五项测试的结果并不可靠。它应该要收集一整天的痰，而不是只看一个样本。我就是想和医师谈谈，听听他的说法如何。阿琳也怀疑医师不太了解第四项测验的意义，没有做得很恰当。一般来说，她的病情有所改善。我星期天的时候，会再找医师讨论。

最近我岳母来了，这也可能是阿琳病情好转的部分原因，但应该不是主要的原因。因为在她抵达之前，阿琳的病情已经开始好转。不仅如此，上次她来的时候，阿琳的病情甚至更不好。在她走的时候，阿琳的身体可说很差很差。不过这次阿琳的体重增加，应该可以归功于我岳母。一定是她煮了很多好吃的东西，让阿琳胃口大开。我认为阿琳的体重应该会持续上升。



1944年，洛斯阿托莫斯时期的费曼（坐在邦戈鼓上）

不过，结核病总是时好时坏。因此，当病情稍微好转的时候，不必太开心；病情比较差的时候，也不必太灰心。一切要有耐心。

你看，你以前常羡慕我，碰到不如意或悲伤的事情时，不会怀忧丧志。但从另一方面来说，当我碰到好事情时，也不会欢欣鼓舞。不过你不要误会，我并不是悲伤，我只是没有欣喜若狂而已。但如果阿琳的病情非常确定是持续好转，甚至痊愈，我当然会欣喜若狂。

另外，在我的工作场所，并不鼓励朋友或家人来拜访。当岳母到阿布奎基来的时候，我得到特别许可，离开营区去看她。如果你也跑来，我可能很难再出去看你，他们会认为你的拜访对象主要是阿琳，我出不出去无关紧要。当然，你随时可以来看阿琳，我只是怕自己出不来而已。这有些棘手，但我还是很想念你们。也许我们要等到大战结束，一切才能恢复正常。

保重

理查德·费曼

费曼致母亲卢西莉|**1944**年**2**月**29**日

亲爱的老妈：

不必因为自己打字打得不好而难过。你打得可以了，而且愈来愈好。当然，有些错字是可以注意的，例如buzzard（美洲鹫），你打成bixxard，我乍看之下，被你吓了一跳，一时还真认不出这是什么字来。不过你现在打的字相当够水准了。当然，如果你多练习一下，在打字的同时，就把打错的字更正过来，会更完美。你只要准备一只橡皮擦就行了，可以边打边改。当然，这会使得打字的速度慢下来。不过若想打字

打得漂亮，这种练习恐怕省不了。

上星期，我还没有时间处理老爸来访的相关手续，因此关于这件事，没什么好报告的。

倒是我在上星期四，有一场小型的演讲。我们这里有个数学俱乐部，每两个星期聚会一次。他们举办了一系列的演讲，第二场轮到我。我讲的题目是“数字的一些有趣特性”，完全是算术上的东西，没有用上比算术更难的材料，纯粹是算术。我有一些很有趣的、纯粹是算术的东西，可以在这些绝顶聪明的人面前卖弄。可惜，我对你提的那个有关7个橘子的答案，却想不起是什么问题了。只好让老爸和老妹去得意一番了。

结果是，听演讲的那群天才对我所谈的事印象深刻，他们显然以前也看过我提到的这些数字的特性，只是没有好好去想它的原因。而突然间，我提出相关的解释，所有的问题豁然开朗起来。当然，这些解释他们一听就懂，而且是早就知道的东西，只是没有好好去想而已。但我讲得很快，没让他们有多少时间去仔细思考我给他们看的东西。这使得他们对我所演讲的东西更觉得奇妙。我的演说非常成功，和我第一次主讲一些和代数有关的问题的时候很相像。害我一度以为要教代数的最好方法是应该先教算术，再往上走。后来一些听演讲的人一碰到我，就告诉我说，他们听得很开心。他们在走道上碰到我的时候，会举出我提到的问题的证明过程给我看。

真抱歉拉拉杂杂地说了这么多，但它还是和7个橘子没什么关系。不过，橘子两个卖5分钱，另外一家店里一个卖3分钱，我在两家店里各买了几个橘子，总共用了19分钱，我总共买了几个橘子？你注意，我并没有问你，在哪家店各买了多少个橘子。不过你可以去问老爸，再去问老妹，若买同样数目的橘子，除了19分钱之外，最多要花多少钱？当然你知道，并没有半分钱这种单位。



费曼全家合影于20世纪40年代。由左到右分别是费曼、妹妹琼恩、爸爸梅尔维尔、妈妈卢西莉

这个问题，应该可以把全家人聚起来超过3分钟以上。告诉大家，我爱他们。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳（日期不详）

最亲爱的猫咪：

这次出差的工作自然是有点忙碌，但不像以往的出差那么忙。他们这里的工作规划得不太好，所以我还要多等一天，才能开始工作，之后会连续忙个一天半。因此，我为了这一天半的工作，要在这里待上3天。

我希望我在外地的时候，你不要太愁苦。也许你的访客会让你稍微觉得开心些。我爱你，而且在飞机上的时候很想你。当我坐在机场，我在想我的猫咪是多么的好。

本来我住的机场旅馆答应要叫我的，但他们忘了，因此我没有赶上飞机，使得我必须改变整个搭机的行程。我们到圣路易来转机，还要等上一阵子，因此我进城去逛逛。我已经忘记大城市是什么样子了。到处都是汽车、巴士、高楼大厦，到处都是噪声，感觉不太舒服。我跑去看了一场电影。我也在一家非常时髦的餐厅吃晚餐，但食物太辣了，我无法入口，于是拿起外套，走进另一家小店吃些简餐。但好像没有其他人抱怨，可能他们早就知道了。我对这些“舒适与文明”很不习惯。

我前天晚上到史蒂文生家里拜访，和他聊得不错。今天晚上还要去。

我今天上午等一下就有个会，因此，现在最好先准备一下待会儿要讲的东西。

至于你，亲爱的，我要对你说，我爱你。

我爱你

理查德·费曼

阿琳写给费曼|**1944**年**8**月**22**日星期二

亲爱的，如果可以分身就太好了。我能理解你的处境，我也知道实际的状况，但我还是需要你。我想我又跌入深深的低潮之中。今天早上，我接受了静脉注射，还有一些其他的医疗措施。亲爱的，我觉得很沮丧，而只有你能改变这一切。你能来吗？如果这不干扰你的工作的话，我爱你，亲爱的。

你妻子

猫咪

有个好消息可以告诉你，就算药石无效，你的微笑和你的手，依然能改善我的病情，而且是很有效的。亲亲。

费曼致古柏纳（**Richard Gubner**）医生的信件草稿

1944年8月下旬，有一种治疗结核病的新药sulfabenamide在进行实验。费曼向有关当局表示了对这种新药的高度兴趣。美国公正寿险协会的一位医生写信给费曼，告诉他：“这项研究还是非常初步的阶段，而且我们对这个药还没有把握，不知道有没有效。”接下来的信，表示他非常遗憾，虽然他明知这些药物并没有毒性，但他也不方便提供试验中的药品给特定的对象。并且建议费曼和阿琳再多等两个月。

你最近写信给我们，告诉我们一些有关结核病新药sulfabenamide的资料，而且说这种药在几个月内就可以得到。但是如果我们的病况够紧急的话，也有可能先得到一些新药。我们非常感谢你的好意，也得到很大的鼓励。

由于我们不知道在什么条件之下，才能得到新药，我们也无从判断自己的情况是否符合所谓的病况危急，是否足够保证能在这时候就得到这种药品。在和医师稍微讨论之后，我们认为你应该是最有资格做此判断的人。如果我们把病况的详细资料寄给你，对你的判断应该大有帮助。因此，我们的医师西尔利已经把最近的检验报告摘要寄去给你，另外还说明了我太太的情况。你能不能告诉我们要怎么做才好？如果你需要进一步的资料，也请通知我们。

我们知道，我们在要求你做一些本来应该是我们自己该做的事情。我们能不能假设是在请求你的指导，这样，有没有遵从你的指导去做，

就是我们自己的责任了。这样，或许你会觉得心里比较轻松自在些。例如说，你建议我们多等几个月。到了那个时候，药也寄来给我们了；但会不会已经太晚而没有什么用处了？

我们并不想影响你药物实验的进行，也不想介入新药的供应。当然，实验本身比任何一位病患的个别需求都重要得多。因此，不论你什么时候能给我们新药，我们都非常感激。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：1944年12月，新药sulfabenamide已寄给阿琳的主治医师。

阿琳写给费曼|**1945**年**1**月**31**日

至爱的甜心，我爱你。最近这些天以来，你成为我生命中如此重要的部分，没有了你，我怅然若失。但是我现在很快乐，一面想你，同时知道你很快就会过来。我们很快又能亲密地在一起，谈天、阅读，分享结婚之后经历的一些趣事和它带来的磨难。史诺哥留在城里，这给了我一些额外的时间。

亲爱的，我们生活在一起有这么多的乐趣，成为互许承诺的爱侣，使日常的生活变得非常奇妙，我的意思是期待会有什么妙事发生。这是一种喜悦、深刻而持久的情绪。我深爱着这个我叫理查德的男人，我的丈夫，我亲密的爱人，将来的好父亲，伟大的科学家以及我的小心肝（就是你常装的那个样子）。我爱你，理查德，你进入我的心灵，充满了我身体和思想的每个角落。我不是盲目地迷恋你，我只是痴痴地、快乐地爱你（我实在找不到一些合适的字眼）。我爱你的真诚，爱你敏锐

的思绪，爱你的直截了当，也爱你的坚强。你相信我们的未来，和我们之间不变的爱。

我们永远没有足够的时间来好好享受我们的爱。

你的太太和女朋友

猫咪

附笔：希望你星期一回营区的时候一切顺利。晚上很冷，你的长裤够不够暖？

费曼写给阿琳（日期不详，某个星期四的早晨）

亲爱的猫咪：

来信收到了。我周末会去看你。

昨夜我工作到凌晨3点45分。不知道什么原因，又睡不着，我干脆起来洗袜子。我有一大堆袜子要洗，花了将近两小时。接着我淋浴一下，再回去躲在床上（6点钟），醒来的时候已经早晨8点了。

其他的衣物我会哪天抽空洗一洗。这里有自助式的洗衣机，一小时才25分钱。我会用洗衣机的。至于烫衬衫，可能需要学习一下，我在猜怎么弄。

你那边情况如何？

我爱你，亲爱的。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**2**月，某个星期二晚上

哈罗，甜心：

我爱你，写信给你的感觉真好。我有个没办法处理的问题，因此想和你商量一下，也许你晓得该怎么办。

我太太和我觉得，把她从阿布奎基的疗养院搬到营区来，或许会是个好主意。当然，她在阿布奎基也不错，但如果搬到营区，我们就可以天天见面，而不是每星期才能见面一次，而她也能看看那些和我一起工作的人，等等。而且这样一来，我们更能够在一起生活，情况应该会更好。

但是事情进行得并不顺利。她搬进营区才两天半，就整天以泪洗面。她觉得什么事都不对劲，非常不快乐。举例来说，当她咳嗽得很厉害，需要注射药物的时候，虽然她按下了叫人的蜂鸣器，但护士总是过一会儿才出现。即使护士来了，也会和她争论，比方说，离上次的药物注射还不到4个小时啦，或是她其实只是心理依赖药物，并不是真的有需要，等等。她很着急、担心，但我认为事情并不太严重。有时候，她咳嗽得太频繁了，呼叫护士的时间太密了。因此，有时护士会迟到个10来分钟之类的。其实，有时护士手边正忙着别的事，没办法立刻分身过来。另外，她希望伙食能有变化，虽然这件事她还没有找营养师谈。在第一天，她就对所谓“探病时间”的规定非常烦恼。因为依照上面的规定，我似乎在星期天也不能整天陪她。当然，这件事很快就解决了。另外一件困扰她的，是附近传来的小孩子的笑声。事实上，她的房间门窗总是关着的。还有，氧气瓶消耗得太快了，等等。

她主要的抱怨是，这里的护士不知道怎么照顾结核病患者。而我的感觉是，我尽管忙得汗流浃背，但军医院里的护士总是比民间疗养院的护士严肃。她们总是一板一眼的，一切按照规定来。不像民间疗养院的护理人员，通常年龄比较大，态度也比较亲切。比方说，在疗养院里，护士也会和她争执，例如说她是否真的需要皮下注射，但是态度更和

善，出发点也是为她好，希望她不要那么依赖药物。她对这种说辞自然不会有太激烈的反应。

由于这些琐琐碎碎的事情，弄得她心情很差，很不开心。她要求立刻回阿布奎基的疗养院去。她还提出各种加速进行的想法。但她没有办法立刻回去，我猜想是那儿暂时还没有房间。她甚至建议要一间设备比较差的病房也没关系，或者请她母亲专程从纽约来照顾她。她非常不舒服，极力坚持立刻走人，而且要马上行动。

但是在我看来，绝大部分的问题都是可以克服的。就如同前面提到的探病时间的那个例子。而有的问题更是鸡毛蒜皮的小事，只要习惯就好了。我之所以没有尽快搬回阿布奎基，是因为我觉得她住在营区，和我共同生活，对我们两人都意义重大，而且我们彼此一定都会有很大的收获，只要她肯稍微调整一下态度，适应生活方式的改变。而且她应该学习一种比较轻松自在的生活态度，不要事事讲求完美，吹毛求疵。对那些想照顾她但笨手笨脚的人采取合作的态度，更有耐心、更宽容。

对于最后这一点，她和我的看法完全不同。她完全不认同我的意见。她认为这里的一切措施，都受到严重的扭曲、变形，完全是无可救药的。以她的看法，是愈早离开愈好，受的苦会愈少些。

在我看起来，对这件事最好的处理办法，是很耐心地放松心情，等待一段时间，看看情况是否逐渐改善，或者是愈来愈糟糕。看看她是不是愈来愈习惯新的环境和新的生活方式，而逐渐快乐起来。或者真的如她所说的，已经扭曲变形得无可救药了。

她认为这个想法无法接受，她在这里永远不会快乐，她也不准备尝试或忍耐。她对这里已经完全放弃了。她的不适应已经接近歇斯底里，因此，任何和她以前生活上的不同，都变成无法忍受的折磨。我认为她已经是一种非理性的吹毛求疵了。她对这里的批评和她想做的事，都相

当的不理性。譬如说，要回家去让母亲照顾，等等。我希望她永远不会干出这些傻事。

我是不是该放弃自认为合理的做法——也就是以平常心来等待事情的发展？毕竟我们在这里才待了两天半，时间并不算长，要论定好不好还嫌太早。可是她却主张，要立刻不顾一切地设法把她搬回阿布奎基的疗养院。

这件事还有更深一层的说法。她说她太衰弱了，所以无法适应改变。她太衰弱了，举例来说，没有精力向营养师说明或解释她想要什么。和别人彻底沟通太耗精力。总之，她太累了，身心俱疲，因此没有希望能解决这些问题。她只想尽快回到阿布奎基的疗养院。

但她以前也曾这么衰弱过。不过，后来通过我们之间的对话与沟通之后，就逐渐坚强起来。但是她表示，这次她实在精疲力竭，已经没有办法理性思考问题了。

其实我在等待的，是她的坚强。我希望，她坚强到能和照顾她的医护人员一再解释自己的需要，对他们有足够的耐心和等待，并且坚强到能理性面对问题，和我充分讨论。这样我们就知道搬回阿布奎基是否是个理智的行动了。

另一方面，如果我失败，她在这里一直很不快乐，其实应该说相当痛苦才对。那我们为什么要增加她的苦难？只因为我高估了她的潜力和适应力，反而使问题更复杂化？

在这个家庭里，我是不是该扮演一个坚强的角色，帮助她向上提升，然后做一些对我们两个都好的决定，使我们以后更坚强、更亲密（当然这个决定也可能是搬回阿布奎基）？或者我不要这么坚强，也陪她一起掉泪，和她一样软弱地，做出歇斯底里式的立即反应？我现在要

的，并不是“要不要搬回阿布奎基”这个问题的答案，而是我们应该以怎样的心态，来讨论该不该搬回阿布奎基这件事。其实我在意的并不是事件本身的处理方式，而是面对事件的态度。

我真的不知道该怎么办。我希望你能给我一些建议。你是从问题的另一面来看这个事情的。真正的困难是紧迫性有多高。因为如果我犹豫不决，她只好继续待在这里，或许只是延长受苦受难的时间而丝毫没有意义，这当然非我的本意。我争取的，只是一些适应的时间而已。如果确实完全无法适应，当然是要尽早离开才对。

你觉得如何？我爱你，永远尊重你的意见。我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**2**月**28**日

费曼一度把太太阿琳安置在洛斯阿拉莫斯的营区医院。这个尝试失败之后，阿琳又转回阿布奎基的疗养院去。

哈罗，猫咪：

你介意我用我太太的信纸吗？这批信纸今天刚送到。我想你会说我应该把它们用掉。

今天我没有收到任何邮件，所以我除了对你的爱之外，没有什么别的东西可以寄给你。

我今天去看了牙医，顺便洗牙，所以现在牙龈有些疼痛。牙医还替我把几个蛀孔补了起来，下次约诊的日期是5月26日。他们显然非常忙碌，一约就是3个月后。我是不是应该在阿布奎基找个牙医看看？不过你现在还不必替我约诊，稍微过一阵子再看看。

你那儿的情况如何？我很想知道你是不是已经从搬迁的激动状态中恢复过来了。毕竟你待在阿布奎基也有一小段时间。我希望你觉得好一些。当然，一定是安全些。

今天晚上，我已经出席过一个会议。但我现在要回到床上躺一躺，早点睡觉。这是根据我们两人的约定。现在才10点钟，我可以睡足九个半小时。

我有几本书，一些你的相片和你的东西，我应该已经都整理好了，但我并不太确定。今年我一共整理了6个条板箱和10个纸箱子。我想到当你收到这些箱子的时候，必须把它们搬过床铺，摆到阳台上去；一想到这个模样我就很开心。你一定会很狼狈的。我想或许应该先把床移开，腾出一条路来，然后把箱子搬到恰当的位置，再把床移回原来的位置，比较容易些。可怜的猫咪。

我爱你，甜心，就算有6个条板箱和10个纸箱，也不够装的。

我爱你

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**2**日

最亲爱的猫咪：

我昨天接到你寄的两封很棒的信。其中一封是一首诗，相当优美。如果你觉得不舒服，千万不要勉强自己写信。我星期六会去看你。在你需要的时候，总是能得到母亲的照顾，实在太好了。这样就算其他的安排都失败，也不至于走投无路。现在，你又日夜都有人照顾了，真好。

不管你近来担心什么事，就是不必担心钱的问题。你真的没有花太

多钱。而且我们颇有积蓄，足以应付不时之需。

我昨夜一直工作到凌晨5点（应该说是今晨才正确），要找出一个能简化工作的运算方式，使机器的运转快一些。我想，已经得到一些实质的进展，同时，这些工作也非常有趣。本来我今天想多睡一会儿，补偿一下昨夜透支的体力，但我还是在9点30分就醒了，没有办法再入睡。现在是10点钟（同时我爱你）。

我想你可能太累了，没有办法写信给马斯特桑夫人。因此，我昨天晚上打电话给她，表示你一切都已安置妥当，并且谢谢她。

我今天早上又想到一些主意，值得去试试看。我想，我等一下就要去工作了。

再见，甜心，一切都会没事的。我爱你，明天会去看你。我爱你。

你老公

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**5**日，星期一，下午**3**点**30**分

最亲爱的猫咪：

你不会喜欢我说的这件事的。我整个晚上的工作都非常顺利，所以就非常兴奋地熬了一整夜，直到早上8点钟才上床，然后一直睡到现在。

我想现在应该可以轻松一些，直到吃晚饭之前都不必做什么事，可以到营区附近的山上去散步两三个小时，一定很好玩。我很久没有在白天跑到山上去散步了。地上有点积雪，因此还有些寒意。我昨夜睡的时候，还觉得脚底冰冰的。但我还是觉得可以出去走走。我会多穿一双毛袜，再套上毛线衣，应该就够暖和了。这主意不错吧？

我从阿布奎基回营区的时候，在公共汽车上碰到汤玛先生。两年前，他太太还没有搬来之前，他常常和我们几个人一起散步，当然里面也有女同事。

他太太在圣诞节假期的时候，带着孩子一起回娘家度假。在他太太离开之后，汤玛接到法院的通知，说他太太提出诉讼，要和他离婚。他完全给搞糊涂了，根本不知道出了什么问题，到现在还是丈二金刚摸不着头脑。他虽然和太太恳谈过，但至今仍然不明白太太为什么要弃他而去。他知道，他们之间绝对没有第三者介入。主要的问题可能是他工作太忙了，太努力了，使得他太太认为，他不是个称职的好父亲。这是他的想法。

我觉得一个女人如果要抛弃先生，至少应该亲自告诉对方。不要让先生接到法院的通知时，还大惑不解，尤其是当先生照顾太太和家庭多年之后。这种方式太粗鲁了。至少应该让对方知道问题是出在哪里，否则接到法院的通知单时，仿佛是晴天霹雳。而且让先生清楚知道自己为什么要离他而去，应该是女人的责任。男生很多是大笨牛兼呆头鹅的。

不要怀疑我的爱。我也相信你永远爱我。我当然是永远爱你的。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**7**日

亲爱的猫咪：

昨天我到山上去散步，走得非常愉快。山区里可以去的地方还真不少，我想我以后会时常到山里去走走。

因为昨天起得这么迟，所以我昨晚不想太早上床。我大约工作到半夜3点才上床，早上起床的时候已经是11点了，东摸摸西摸摸就到了12

点吃午饭的时间。吃过午餐后，我现在正在给你写信。

我昨天走到一座小山峰底下，然后对自己说，就爬这座山峰吧。等到走近了，才发现自己和想攀登的山峰之间，有一道相当深的峡谷。于是先找路下到峡谷，再往上爬到峡谷的对岸。现在，我置身在想要登顶的山峰脚下，已经没有东西阻路了，除了我随身携带的闹铃手表。我在出来的时候，先设定了1点15分。我还没有开始爬山呢，设定的时间已经到了，闹铃响起，如果我想赶得及吃晚饭，就必须打道回府，因此我就回头了。

我随身带着一根大约1.5米长的铁管子当手杖，因此，我的手快要冻僵了，握铅笔都有点困难。山区里到处都是积雪，我用手杖东戳西刺的，怕自己掉入积雪覆盖之下的山沟里。还好并没有很深的山沟。

晚餐之后，我就开始工作。

你的情况如何？亲爱的。

我爱你

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**8**日

哈罗，亲爱的：

我很高兴你觉得好些了。昨天我收到你两封信。如果你想搬进一个大一点的房间，就去换吧。这样对你或许好一些。不过依我对你的了解，最好新房间要有个阳台。

早上我冲了一个澡（我昨夜11点30分上床，早上9点或10点才起来，接着又东摸摸西弄弄的）。淋浴室的隔间是锡皮做的，我弄得到处

都听得见声响，开心得很。

现在快要12点了，我很快就要去吃午餐。我会放松自己的，整个上午都没有做什么。

昨晚我又出去散步，戏弄了一下守大门口的夜班警卫。我指出距大门不到15米的地方，围墙上有个大缺口。他跑过去检查，果然如我说的，这个缺口很大，还有小路相通，想开着汽车由此进出营区都不成问题。他们立刻把这个缺口封掉。接着我走得更远，发现：①还有一个很大的缺口，有小路通往，车辆也可以穿过。②篱笆上被人割开一个洞，人可以由这个破洞进出营区。我从这个破洞走出去（同时碰巧有别人从这个破洞走进来），然后在警卫面前，大摇大摆地走进来。他觉得很奇怪，怎么没看到我走出去，却老是看到我走进来。我对他和值班的军官解释，但我相信他们不会采取任何行动。

总之，这件事很奇怪。他们只在晚上派警卫防守大门，因此，只有晚上间谍才进不了大门。如果陆军人手不足，应该把这种笨警卫调去补充。

再见，甜心，我们很快就能碰面了。

我爱你

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**10**日

哈罗，猫咪：

我忽然发现，下个星期就要申报所得税了。我最好赶快开始。我想最好在星期六就把所有相关的单据都整理一下，然后填写每个月的开销

表格，那么我带回办公室之后，可以在星期三晚上做这件事。每个人都说申报所得税是个大工程，但我相信应该没那么困难才对。而且应该很好玩。因为你可以想出各种节税的办法和理由，而每个正确的做法都可以为自己省些钱。

有个名叫珍的女孩子，从营区的医院打电话给我，问起你的情况。她表示预备在周末到阿布奎基去看你，时间可能在星期六晚上或者是星期天的白天。

昨晚我又熬夜了，到两点才上床睡觉。但是我一直睡到上午10点30分才起床，所以我想我的睡眠应该是足够的。或者这样子不太好？

今天是星期五，所以我明天会去看你。

我今天晚上要到老板（汉斯）的家里去照顾他们的小孩亨利。交换条件是我可以随时去翻阅他家的《大英百科全书》。但没料到今晚他们还邀请我到家里去吃晚饭，看起来这次照顾小孩得到双份的报酬。

就这些事了，亲亲。我要停笔说再见了。我爱你。

理查德·费曼

※米歇尔注：信中括弧里的汉斯，是指汉斯·贝特（Hans Bethe，1906～2005，1967年诺贝尔物理奖得主），他是德国的物理学家，长期在康奈尔大学执教。在20世纪30年代，他发表了3篇讨论原子核物理的著名回顾性论文，而成为这个领域的顶尖人物。开始的时候，他是在麻省理工学院辐射实验室进行和军事计划有关的研究。奥本海默延揽他到洛斯阿拉莫斯来，担任理论部门的负责人。

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**13**日星期二深夜

费曼谈到装着单据的纸盒时，不是说“我”还没把它给寄走，而是戏称“这里的人”。

最亲爱的猫咪：

今天发生了许多事。首先，我找到那个装着很多单据的纸盒了。这里的人还没有把它给寄走。总而言之，虽然没有这些单据，我也能以粗估的方式来报所得税，也不会差太多。但找到总是很好。①它不是在木板条的箱子里。②它就在我找的第二个纸箱子里，实在很幸运。③并不是所有和财务有关的单据，都在这个红白条纹相间的盒子里。我现在才知道，里头只有下半年的财务单据。

但是我今晚就利用这些单据和估算，把所有报税的资料都完成了。和我预估的数字相去不远。你要像去年一样，签一份和退税有关的文件。我会把相关的文件都弄好，寄给你，你只要在该签名的地方签个字，然后邮寄给税务机关就行了。由于我们报税的时间很晚，你寄出的报税资料很可能超过期限，因此我们可能会受罚。这是理论上的说法。但我估计，我们最多只会迟个一两天，应该在容许的邮件处理范围内，不会差多少，也可能实际上没什么关系。我明天会把所有的东西都寄给你。

我现在正在工作。第一台机器已完成它该做的部分，我们正在交给另一台机器来把工作完成，因此暂时有一段空当。我正好借这个机会写信给你，也趁这个机会对你说声我爱你。

明天开始，财务单据要放在另一个新盒子里了。

我下个星期不会回家。我今天和老板谈话，他告诉我纽约有些事情要处理，我是很适合被派去出公差的人，也就是说，我可以一石二鸟，去纽约出差，同时回家一趟，交通费和日用开销还有人出。因此，我可

以等一等，到纽约出差的时候再回家去。

听说你妈妈生病了，我觉得很惊讶。她应该尽快回家。告诉她去坐火车，如果她愿意，我可以出车票钱。生病的人搭乘长途汽车实在太辛苦了。我想当她回到海拔比较低的地方之后，一定会觉得舒服些。

再见啦，甜心，现在已经是星期三清晨4点了。

我爱你。

我昨天很忙，不曾写信。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**14**日星期三晚上

最亲爱的猫咪：

在这封信里你会看到一个信封。把它抽出来，里面装的就是你报税的文件。抽出这些文件，在第一页上，你会看到两条虚线，我在每条虚线的前面，都用铅笔画了一个叉（就在第一页的下面，这就是退税申请单）。其中一条虚线下，写着纳税义务人，那就是你啦，小姑娘，在线上方签个名。第二条虚线下标着日期，记下你签名当天的日期吧。不要想在日期上动手脚，反正退税单总会因为某种原因而延误交寄。签下名字，填下签名时的日期，这就是你全部的工作了，再把退税申请单放进信封，寄出去。这样，在明年的某一天，你会接到一张退税的支票，应该是203.06美元。到时候再把支票交给我。

如果你想把整份资料都看一遍再签字，这当然是值得夸奖的好习惯。只是不要忘了把那叠标示着“扣缴凭单”的东西也放进信封里。

你要知道我们缴税的情形吗？我要补缴30.08元的税款，而你可以获得203.06元的退税。因此，我们总共可以获得约173元的退税。去年，我们一共缴了314元的税，但得到263元的退税。不过它迟了10个月才寄给我们，因此也支付利息给我们，我们总共得到的退税金额是282元。今年我们两人共缴了489.43元，但政府已经从我的薪水里，按月扣了662.40元，因此要退173元给我们。

现在盒子已经空了。我在盒子上做好标签，并且打好包，请圣塔菲货运公司送到圣塔菲去给你，让你开始收集必要的单据。

你请好护士了没？

你妈妈的情况如何？

我需不需要在星期六之前，抽空到阿布奎基一趟？

我爱你，小宝贝。我爱你。

理查德·费曼

附笔：

别为报税误期而担心。罚款不可能超过6元（这是迟了30天的罚金），而我非常怀疑，迟个一两天会有什么罚金。至少对我是绝对没有罚金的。我是说真的。你的申报比较慢，我的却是及时寄出的！哈、哈、哈！

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**18**日

最亲爱的猫咪：

我想这个星期我又有些过度工作了。通常我每天大约凌晨3点上

床，然后睡到上午11点，睡眠应该是够的。问题是，它打乱了我的正常作息时间，而且我觉得太累了，就把给你写信这件事往后延，先睡再说。起床之后又有别的事耽搁了，一天就过去了。你就没有信可以看了。

昨晚，我到一对你不认识的同事家里去。那位先生曾是康奈尔大学的讲师，他太太则曾经在动物园或什么类似的地方工作过。总之，她非常喜欢动物。他们养了两条狗，其中有一条母狗已经怀孕，快要生小狗了。她带着这只怀孕犬去给兽医看。兽医详细检查之后，夸奖了一句，“奶子的发育很好啊！”我想应该是在说狗。但这位同事的太太低头看了看自己的胸部，然后板着脸说：“哦！谢谢你。”弄得兽医尴尬得很。

那天还有别的同事一起去那对夫妻家里，有个人就弹起夏威夷的四弦琴来。那位先生则吹奏长笛来合音。我敲着桌子为他们打拍子，然后东敲西打地玩了很多东西。之后，我们看了纽约绮色佳（Ithaca）的照片以及墨西哥州的照片。他太太在照片里搔首弄姿，摆了很多姿势。

今天我起得早些，本来是准备参加一个会议的，但闹钟出了点差错，提早把我弄醒，所以我多了半小时的空当。

另外，我今天会去看你。我深深地爱你，再见，甜心。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**22**日星期四早晨

最亲爱的猫咪：

我昨天接到你一封很棒的信。我很高兴自己可以让你振作起来，很轻易就使你非常开心。只希望你的开心与振作能够再持久些。并不是我

不想和你说话，你知道我永远是乐意的。只是如果你的快乐可以持久的话，那么相对的，不快乐的时间就会缩短了。那在我看你、陪你之前，你也有机会快乐地过日子。

信里还夹着一张便条纸，写着“要记得的事情”。其中有一项特别用绿色墨水写的，强调它的重要性，就是“休息与放松”。虽然在接到信的时候，才下午3点钟（星期三），但我决定立刻遵命，上床睡觉。结果一直睡到星期四上午8点才起床，足足睡了17个小时，连日的疲劳一扫而空。只除了中间有1小时的干扰。那个混蛋朱利阿斯（Julius Ashkin）在练习直笛，一种很令人讨厌的木管子，可以依照纸上标示的黑点，对应地发出噪声——一种很诡异的、猫叫的音效来。

我的行径听起来有点反常，所以我要说明一下。①我是工作小组的组长，有照顾组员的义务。有个组员滑雪摔断了腿，因此受我的照顾。②我们正准备开始一项新的工作计划，但还处于筹备阶段。③我们现在开始轮三班，每班8小时，日夜不停地赶工。④除了我和断腿仁兄之外，没有人晓得事情是怎么回事、该怎么做，连我自己也不是很清楚。因此，我从星期二的上午8点一直忙到星期三的下午3点，整整31个小时。那时候，新工作的进行已经相当顺利了，所以我才在下午3点跑去睡。

我醒来的时候，事情进展如何？就和我去睡的时候一模一样。因为我离开以后的15分钟，有人做错了一件事，一切努力全部白费。我们又要回到原点，改正错误，再重新来过。这也是我为什么要这么辛勤工作的原因。我一定要另外想个有效的管理方式，让我不在的时候，事情也能够顺利进行下去。

当然我爱你，管他事情怎样了。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**3**月**27**日

最亲爱的猫咪：

今天我的上眼睑肿了起来，不知道怎么回事，害我连眼睛都不能完全张开。我10点钟要去看医生。如果你觉得这封信的字迹歪歪斜斜的，那是因为我眯着一只眼睛写字。我想是比较严重的睑腺炎（麦粒肿），真的有点严重，害我非去看医生不可。

星期天晚上，我从11点30分睡到第二天7点30分，昨夜是12点睡到今晨8点，因此我总算回复正常的作息了。我每天工作8小时，正常吃三餐，希望能一直这样维持下去。昨夜吃过晚餐后，我和克劳斯（米歇尔注：克劳斯可能是Klaus Fuchs，后来证实是个俄国间谍）开着他的新车去兜风，这是他刚买的。我们开到一些印第安人留下来的洞穴去，还爬进去看了一下。后来天色暗了下来，我们就回去工作了。

这里的事情慢慢平顺起来。当然，偶尔会有一些小波动。我小组的工作成员似乎逐渐能独当一面地挑起大梁来，不管我在不在，几乎都能把问题解决。

现在是星期二上午，我正在给你写信。我在这个星期二上午很爱你。但我的身体似乎有严重的失调。我永远爱你，你是个好太太，我很喜欢去看你，但愿现在就是星期六。反正也快到了。

你这星期情况如何？

我爱你，小猫咪。

保重

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**3**日星期二，上午**10**点

最亲爱的猫咪：

有两件事你听了可能会很开心。第一，昨天，我把一切事都收拾停当。因此，从现在开始，我将不必再熬夜工作了（昨夜，我工作到12点）。第二，我洗了淋浴。今晨我故意睡得很晚，纯粹是好玩而已。我现在开始用一种比较轻松的态度来过日子（甚至在就寝之前，还花了半个小时阅读一本书）。我觉得最辛苦的时期已经过去了，我现在可以放松些。

还有第三件事你一定会开心的，就是我爱你。你是个又坚强又美丽的女人。虽然你不是永远都这么坚强，但它像山势一样有起有落。我想，我像是一座调节力量的水库。如果没有你，我只是一片空乏和衰弱，就像认识你之前的情况。你偶然具有的力量，使我也跟着强壮起来，然后我可以把储藏起来的、来自于你的力量，在你需要的时候回馈给你。多美妙！

我发现这几天写这些东西给你，居然有些困难。我通常习惯在信里，表达出一种很亲密的私密情感，但上面那些东西我说得不太顺畅。我星期天会来，再亲口告诉你。我会在星期天爱你。

这里没有什么新消息。哦，对了，是有一件事。我们这里有个正式的反情报单位，他们正式审讯我们的一位同事。就像电影里的情节一样，一间黑暗的房间，烟雾缭绕，四周坐满了看不清面孔的人。他们连珠炮似的问了他好几个钟头，想证明他是一个共产党。但是这些人没有成功，因为他真的不是共产党。第二天，这个可怜的家伙还心神不宁，无法好好工作。因为他们在前一天晚上，半夜把他从床上叫起来。他们说想肃清我们这里所有的间谍。其实他们的方法很笨拙，例如营区的大门常常在半夜无缘无故地洞开。不过你别惊慌，他们还没有找我麻烦。

他们不知道我是个相对论者。

我爱你，甜心。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**4**日星期三上午

哈罗，猫咪：

我昨天晚上工作得有些晚（凌晨1点），但是我今天上午10点才起来，应该是睡够了。

昨天这里冷得像寒冰地狱，又下雪又刮风的，很不好受。

昨天中午，午餐过后不久，一位住在富勒旅舍的、我不太认识的人，跑来请我帮忙，去打开储藏室的锁。看起来，富勒旅舍管钥匙的人把钥匙弄错了，把房间门的钥匙当成储藏室的钥匙，而他把东西放在储藏室里，门却锁上了。因此，我收集了两个纸夹子、一把螺丝起子、一个小钉子和一些杂物，到他的房间里，花了2分钟，就用纸夹子和螺丝起子把锁打开了。那个人惊讶得不得了。不过他非常高兴，我也是。因为我对开锁这件事不太在行，常常会失败。我以前很会开锁的，但近来这种手感有些丧失了，我想。

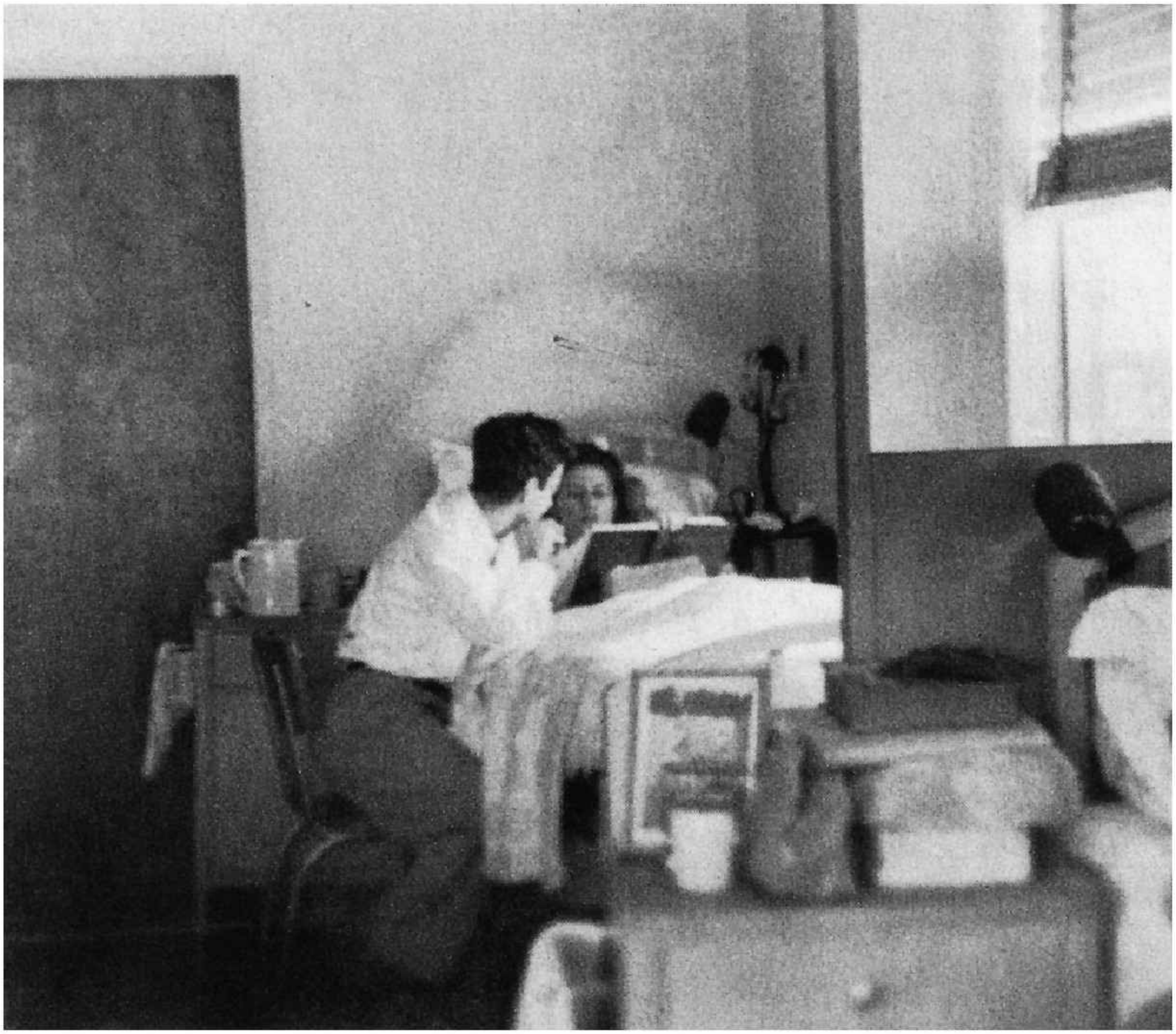
有一天晚上，我带着一个耶鲁牌的锁睡在操作间。虽然我有钥匙，但我和人打赌要不凭钥匙弄开它。我居然搞了一个晚上。我没有告诉过你，曾经去打开一个档案柜，把里面有关拖雷雪车的合同文件取走。当他们有个大型的会议，需要这份文件的时候，却遍寻不着。我当时坐在朱利阿斯的房间，两个家伙上气不接下气地跑上楼来，一看到我就欢呼：“他在这里，感谢老天爷！”从此之后，各色各样的家伙一打不开什么东西，就来找我。我不得不帮助他们弄开抽屉或门锁。不过我到现在

还打不开我自己的保险箱，当然这是指不知道它密码的情况。如果我能打得开这类保险箱，应该算是空前的胜利。

我之所以这么喜欢开锁，可能主要是因为我喜欢解各种各样的谜题。每个锁就好像一道谜题。如果你可以不用蛮力打开它，心里会有很大的成就感。但密码锁倒是难倒我了。

猫咪，你有时也像谜一样，但我最后还是会解开你的。我也爱你。

理查德·费曼



费曼与阿琳1945年摄于阿布奎基的疗养院

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**12**日星期四早晨

哈罗，猫咪：

我应该更勤快写信给你的，星期天碰面的时候，记得你狠狠地骂了我一顿。前几天我和平常一样，非常忙碌。还好我的睡眠是足够的。星期二晚上最惨，我忙到2点30分才上床。不过我一直睡到12点才起床。昨天我在合理的时间上床（11点30分），还是靠着强大的意志力才办到的。昨天，我发现了一项自己的失误，它让我们一再重复去做同一个问

题，把我们的工作进度推回到上星期六左右。但在所有的人齐心合力工作了3个小时之后，我们把问题解决了，并且重新启动了机器。总而言之，我们大概只损失了一天的时间。

除了这件事之外，其他的事都如我所预料的，进行得相当顺利。现在这一星期已经过了一半，我相信剩下来的日子也应该一样顺利。如果事情真的很顺利，我最想做的是，找一两小时的空当出去散散步。我还没有拨出1小时的空当出来过，除了那次和克劳斯开着他的新车去兜风。这种忙碌的生活已经持续3个星期了。我只有利用周末的空当去看你，其他时间全忙得不可开交。能去看你真好，让我下星期又能全心投入工作。

我爱你，小猫咪。真抱歉我工作得如此卖力，害我没有时间想到我们，也没有时间像往常那样时常写信给你。

我爱你，亲亲。你觉得好一点了吗？

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**19**日星期四晚上

最亲爱的猫咪：

朱利阿斯借走了我的时钟，所以我不知道现在时间到底是几点。不过我认为应该还不到半夜12点。

我其实大约在11点30分以前就到家了。但是我正要开门的时候，却听到火警的警报器响起。因此，我立刻跑去帮忙救火。但是当我跑到起火地点的时候，大概只有两三分钟的工夫，火已经熄灭了。原来只是某种化学物品起火燃烧，但火势很快就给控制住了。有人穿着睡衣，开车赶过来，顺便让我搭便车（所以才会那么快）。我到达火场的时候，看

见我的值班同人也跑过来了，在附近绕圈子，希望能帮得上忙。因此，我和他们会合在一起，但还是插不上手。

我没有听到关于你的消息，但如果你不想动笔也没关系。我会如平常一样，星期六上午8点30分左右就出现。除非我又赶不上那班公车。如果我找得到便车可搭，甚至可能到得更早些。但愿如此。

我有两个值同一时段的组员，居然同时生病。真该死！我明天就要展开新的工作了。而那位摔断腿的同事也还没有回来上班。

很快整个小组就只剩下我一个人能正常工作了。

继续努力，亲爱的，报酬是非常丰富的。我星期六会去看你，情况如何？别忘了喝杯牛奶。

我爱你，甜心。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**21**日星期六早晨

最亲爱的猫咪：

我接到了你的明信片。我很快就会去看你，让你整个下午精力充沛。

昨夜我12点上床，但没有写信给你，因为我太累了。我也没有刮胡子，一直拖到今天早上才刮了胡子。上次我的胡子还是在阿布奎基时刮的，星期天晚上刮的，已有5天了。我本来还不想刮胡子的，而且过了这么久之后，刮起来不太舒服。但是镜子里的家伙（就是我啦！）看起来一副蠢样子，所以我还是动手刮了胡子。不过不论我有没有刮胡子，你看起来都是傻得可爱，我爱你。

我每天都忙着工作，所以这里没有什么新消息。我现在上床睡觉的时间还可以，通常我从早上8点30分忙到晚上11点30分，中间扣掉两小时的午餐和晚餐的时间，每天足足上工13个小时。我记得以前在阿诺德旅馆打工，两天一轮，前一天工作11个小时，第二天就工作13个小时，每周（或每月？）只赚20美元。我觉得那件工作比我现在的工作还要辛苦，因为那些工作没有现在的工作有趣，而且工作时数又不是自愿的。

在这3天里，我就做了将近40小时的工作，已经是一星期的工作量了。到了第四天，甚至已经超过48小时。如果我星期六和星期一都放假（星期天当然是放假的），我还是做了足够的事，可以问心无愧地领我的薪水。（写到这里，我忽然想到，在我们两人之间，到底谁在付出，我不知道。）

或许我今天有机会可以发现，怎么才能为你找到一个更敏锐的医师来看你。

我爱你，小乖乖。

喝杯牛奶好吗？

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**24**日星期二早晨

最亲爱的猫咪：

我爱你。

我回营区的路上，没有什么新鲜的事。

或许你会从税务部门得到一份退税通知。不必理它，一切都没事的。它只是告诉你，有关你的税籍记录，已经从新泽西州的坎顿，转到

新墨西哥州的阿布奎基而已。

关于我们每个月的开销，大约是下列的数字：

西尔利医师　10元

护士　300元

房间与氧气　200元

我的零花　50元

我的房租　40元

总数　600元

收入　300元

差额　300元

我们每个月要透支300元。但我们有超过3300元的存款，因此至少可以撑10个月以上（这是假设没有手术之类的额外开销）。你还认为现在有必要卖首饰或钢琴吗？随你爱怎样就怎样吧。我是不是该回餐厅去吃大锅饭，这样每个月可以省15元。10个月大概差150元。

不过看看这张开销表，我发现里面有些项目似乎不太平衡。医师的花费只有10块钱，但是护士和房间加起来的花费却有500元。我觉得，我们花在疗养院的钱可能太多，而花在给医生看病的钱似乎不太够。但我不知道有什么办法能扭转这种失衡，你呢？你觉得如何？

昨夜我睡得不错。我在正常的时间就上床就寝，睡眠很充分。近来事情平静了很多。

我很快就能再见到你。

喝杯牛奶。你的温度是不是还很高？好吧，记得等一下为我喝杯牛奶。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**4**月**25**日星期三早晨

哈罗，猫咪：

我昨晚上床的时间比平常晚了一些，下午2点，睡到10点。我以后不会再这样了。我爱你。而且我也知道，如果我自己都病倒了，将是极为严重的事情。我将努力正常工作，使自己没有生病的机会。

我收到一封你的明信片，知道了你会继续努力的好消息。继续加油！来，现在就喝瓶牛奶如何？明信片上还说，你寄了一只手表给我修，但我还没收到。为什么你不把手表留在身边，等我星期六去的时候再修理？我在这里并没有多少时间，而且也缺乏工具。

我正在阅读一本书《时间与计划器》里修理手表的那一章。当手表构造愈来愈复杂，价格愈来愈昂贵的时候，清洗和修理的方法也愈来愈困难。我很快就只能处理便宜的手表了。不过我想，或许有一天也会戴只昂贵的好手表吧。或许我应该把自己的好手表拆开来练习一下，反正它戴在手上，也没有多大的用处。

我把它拿出来看了一下，因为它运作正常，只是没有分针。虽然掉了分针，运转得还不错。另外，我还发现有个玩具手表，只是发丝弹簧需要修理。我是不是干脆把它修好，寄给你用。你要这个玩具手表吗？

在以前，手表非常不准确，制作也很困难，因此往往只有一根针在表面上，就是时针。因为分针就算存在，所指的时间也不太正确，没有多大的用处。虽然我手表上的分针早就脱落了，但是我单凭时针的位置，就知道大概的时间，误差不会超过5分钟。我想我会把它带着，看能不能修好。

我爱你，小宝贝。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**2**日

最亲爱的猫咪：

今天，我在普林斯顿的老师约翰教授（注：惠勒教授）要来，老板派我到火车站去接他。真棒，这样我就会得到以前那些学校同事的消息了。我连他们的名字都不太想得起来了，好像一个是珍娜特，一个叫提塔，另一个是吉米什么的。

我好久没见到他了，这次能再见到他真好。因为我曾经是他的学生，而且一些他想知道的事，我知道细节，所以实验室派我出去接他。这就是我必须离开营区的原因，暂时也离你远一些。

喝些牛奶！

你是个好女孩。我每次一想到你，心里就暖洋洋的。这就是爱，这有点像爱情的定义。这是爱，我爱你。

我两天之后会去看你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**3**日

有一段时期，费曼和阿琳怀疑是不是阿琳怀孕了。当时测试妇女是否怀孕，用的是一种“富莱德曼测试法”（Friedman test），把妇女的一些尿液，注射到未交配的兔子身上，再检验雌兔的卵巢，以此判断受测女子是否有身孕。

最亲爱的猫咪：

我接到你有关测试报告是阴性的信件。我问了这里的医师，他说，他们可以在阿布奎基的范阿塔（Van Atta）实验室做同样的试验。因为（他认为）那里养了很多兔子。他表示，他对富莱德曼测试的结论没有什么信心（他是我们这里的妇产科医师），可能两头都会弄错。他觉得触摸子宫的生长，才是最好的方法。因此，我们或许下个月再请妇产科医师来看看。

我会拿你的X线片给你。我星期六会早早过来。如果一切顺利的话，应该12点30分左右会到。

医师特别跑来告诉我一个消息，就是现在有一种新的霉素，叫链霉素（streptomycin），在动物实验上相当成功，确实治好了天竺鼠的结核病。现在正在进行人体实验。它对结核病虽然有很好的疗效，但却很危险，会阻塞肾脏什么的，有人几乎被这种新药杀死。不过他认为研究人员应该很快就能克服这些困难。如果一切顺利的话，应该很快就会上市。我不知道西尔利医师有没有注意到这个实验的消息。如果他能替我们注意的话，那么新药一公开上市，就能尽早知道。

继续努力，亲爱的，我总是认为有机会变好的，没有什么一定不行的。而且我们正过着令人陶醉的生活。

我爱你，甜心。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**3**日

朱利阿斯·亚斯金新墨西哥州圣塔菲邮政信箱1663号

阿琳：

下面是理查德给你的消息。

朱利阿斯·亚斯金敬启

你好，猫咪：

我现在人在办公室，手边却没有任何信纸可用。因此，我向亚斯金借了一些信纸来用。幸好这些信纸也是你寄给他的。他特别在信纸的前端，先写了几个字，免得你想入非非，以为他在暗恋你，偷偷写情书给你。尤其当我写着“我爱你”时，更容易产生误会。因为我确实爱你，而我的名字又不叫作朱利阿斯什么的。（这提醒了我，最好小孩子生下来的时候，可别一出娘胎就蓄着小胡子，否则我就知道该去找谁决斗了。）我叫理查德，你的丈夫。

我昨夜只工作到11点，因此有机会早早就上床睡觉。

弗莱德的太太快要生产了。她现在已经在医院里，弗莱德也去陪太太了。我希望他能够放心地说：“希望一切都顺利。”他已经预备了很多雪茄和糖果。按照我们办公室的习惯。生孩子的人要请同事抽雪茄；碰到不抽烟的同事，就请吃糖。我是拿雪茄的。在这里，我几乎每个星期就得到一根免费的雪茄。

他们不知道为什么，把办公室外面那个池塘的水放光了。又利用推土机和挖土机，把池底的黏土层都挖开。真不晓得他们在干什么，但我和一个同事打了赌，这个池塘以后不会再放水进来了。

这就是所有的消息了，甜心。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**9**日

我想我以后不会再喝醉了。并不是我在酒后做了什么见不得人的事，只是我觉得醉醺醺并没有清醒好玩。昨天晚上，我工作到9点30分左右，有一对同在办公室工作的夫妻（他太太讲话非常大声），先生出面邀请我一起到他家庆祝欧洲战争的胜利。因此我应邀前往，喝了比以前多的酒。当然，我也比以前醉醺醺得多，我甚至不想假装自己是清醒的。我发出很多噪声，因为有人把我的鼓也带来了。我不太喜欢后来的情况，我知道自己鼓打得并不好，也不太会讲笑话。另外，我对别人所讲的笑话，也不太会欣赏。在社交场合，我常会被归类为“独行侠”那一伙，不容易引起别人的注意。我们在街上到处闲逛，唱歌、打鼓、敲锅、击盆。听起来好像很好玩似的，但是我知道，如果自己更清醒的话，应该更能开心地享受。



费曼与阿琳过世前的最后一张合照，摄于1945年

在深夜，我就找了个地方躺平了。后来别人把我叫醒，我和克劳斯一起回宿舍。

今晨醒来，没什么不舒服的，没有所谓宿醉或头痛的问题。我冲了澡，便又是一尾活龙了。我认为每个人一生中，总有一次会喝得烂醉如泥。这让他有机会知道自己并不爱喝酒，尤其不喜欢喝醉。

抽烟也一样，试过了香烟、烟斗和雪茄之后，我决定把它们全放弃掉。当我年事渐长，竟变得愈来愈道学了，真是糟糕。

我经常想到你，连喝醉的时候都不例外。我深深爱着你，我爱你。我很快会去看你，我的亲亲。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**10**日

费曼的生日是5月11日。阿琳印了一些假报纸，头版头条是“全国热烈庆祝费曼博士诞辰”，洛斯阿拉莫斯很多人都收到了这份报纸。

最亲爱的猫咪：

我爱你。

昨夜我在TA家吃饭，有很多意大利面和肉丸子。每人3大颗肉丸，吃得我撑死了。我看大家都一样，后来的草莓奶油松饼，每个人都吃不下。

办公室今天到处都是报纸，我想是《先锋报》吧，头版头条是“全国热烈庆祝费曼博士诞辰”。天呀！真聪明。大家一开始都以为真的是

报纸上的新闻。他们就把这份报纸，贴在我办公室的墙上，很多同事还把别人的那一份报纸借回家给自己太太看。真是大新闻，我可能还会因为这个新闻，得到一些生日礼物呢，或许会收到27双袜子也说不定。

总之，我几乎忘了自己的生日快到了。如果没有你用这么绝妙的法子来提醒我，我一定会忘了。

我爱你，不管发生什么事都一样，你是个好太太。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**11**日星期五

最亲爱的猫咪：

很多人跑来要那份报纸的复本，想拿给别人看一看。这件事传得很广，我简直成了新闻人物了。我想今天就是我生日，对吧！

在我生日这天，你觉得好点吗？

我的老板贝特教授也收到一份报纸。他评论说，你真是个很棒的太太。虽然他说这句话时，态度是认真的，但我还是觉得他是在开我的玩笑。（我私下当然也觉得你是很棒的太太。但这样公开宣扬我的生日，让我觉得很窘，我不知道应不应该夸你。）

我想我应该也拨出几个小时来，想个什么办法来回敬你，让你也稍微享受一下被捉弄的滋味。

妹妹写了一封信来给我，但我还没回信。她不知道我老妈知不知道你可能怀孕的事。她在想，不晓得应不应该写封信给老妈，告诉她这件事。

保罗说，他在纽约的时候，关于这件事曾询问一位医师。医师认为，在这种情况下，堕胎应该没有任何困难。如果西尔利医师担心的是麻醉问题，因为你需要氧气，倒是可以利用脊椎麻醉的办法。这种麻醉法对呼吸没有任何影响。

我还没有听到任何进一步的消息。怀孕的检验结果是有还是没有？如果是有，而医师又表示他有办法可以处理，那么下次他来的时候，你认为我们该怎么做？

别担心，亲爱的。

我爱你，亲爱的。

理查德·费曼

※米歇尔注：在这里忽然谈到堕胎，一定是阿琳接到戴博拉疗养院的医生给她的两封信。这是她和费曼结婚之后所住的第一家疗养院。医生强烈建议她，立刻中止任何怀孕的过程，“一天都不要等”。最后的情况是，阿琳并未怀孕。

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**15**日星期二早晨

哈罗，甜心：

昨夜我很忙碌，所以没有写信给你，但我今天早上正写信给你。如果营区收信的时间是中午，它会在同一班邮递中寄送出去，因此，你今天下午就会收到信。这是我的想法，我会知道是不是这样。

昨夜我工作到12点30分，因为在11点交班的时候，只有一个人进来。另外一个人的识别证昨天到期，因此门口的警卫不让他进来。后来，我到处打电话找人。最后等我到大门警卫室去带他进来的时候，已

经过了一个小时了。通常我们一班有3个人，但第三个人生病了，不能来。

我昨天晚上，像平常一样地想起你。你近来一直瘦下去，出现所有营养不良的症候。虽然我知道你吃得不多，但应该也不至于少到会饥饿或营养不良的地步才对。为什么食物在你身体里不能好好地消化？是不是你的消化系统有问题？还是其他的原因？例如缺乏空气？虽然我看不出来缺空气和营养的吸收之间，有什么关联。

如果是前面那个原因，那么把食物的养分直接输送到血液里，会不会是个好主意？例如利用静脉注射或吊点滴，把葡萄糖和必要的营养素送进身体里。或许这个办法值得试试看。问问西尔利医师，看他怎么说。问他为什么在正常的饮食情况下，你体重减轻得这么厉害。如果他认为你吃得不够多，那么吊点滴应该很有帮助。如果你已经尽量在吃了，也吊了点滴，那我们就尽了全力，能做的都做了。

你有没有做血液检查？血液里所含的营养成分够不够？是不是血液里虽然营养足够，但是细胞却没办法吸收？如果是这种情形，那么吊点滴或静脉注射可能也没有什么用。你现在是在哪一种情况？静脉注射会有效吗？问题出在哪里？是“消化系统到血液”这一段呢？还是“血液到细胞”这一段？问问西尔利。

我爱你，亲亲。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**17**日星期四早晨

最亲爱的猫咪：

我昨天没有给你写信。

我接到家里寄来的包裹，就像我告诉过你的一样。里面有6件高级衬衫，是大百货公司买的好料子，很不错。

我还不知道该怎么补袜子。有位需要住院一段时间的女生偶然听到这件事，就对我说，如果我需要缝扣子或补袜子之类的事，她愿意帮忙。但是我看她情绪不是十分稳定，所以不敢去麻烦她。怎么样，你吃醋了吧！别担心，她是一个好朋友的太太，因为怀孕并发症而住院，我怎么敢去麻烦她。你呀，永远不必担心我会和别的女人有什么瓜葛，所有状况都在掌握之中。我只爱你。

昨夜我翻阅了一下《大英百科全书》，看了一下这几个字，很有意思：tuberculosis（结核病）、tuff（凝灰岩）、tularemia（兔热病）、tumor（肿瘤）、tunicata（被囊动物）、Turkey（土耳其）和其他一些夹在中间的字，不过我已经记不得了。我以前也查过“结核病”这一条，不过里面没有多少资料。凝灰岩是火山喷出来的火山灰，我们附近到处都是。兔热病是一种野兔和野鼠的传染病，第一次传染给人是在1913年，发生在犹他州，以后就逐渐流行。被囊动物是一种很奇怪的微小生物，含有纤维素，和植物一样，而它的血液里含有一种稀有金属，叫作钒。（我们的血液里含有铁，昆虫的血液里含有铜，而植物的叶绿素则含有镁）肿瘤，你已经知道了，土耳其是个国家，你应该也知道。最后这一项的内容太多了，我没有看完。

我正在照顾亨利，他是贝特教授的小孩。他已经长高了一些，也刚会走路。他很乖，不会整天哭。不过他在四处走动的时候，有好几次跌坐下来。

这就是所有的消息了。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**22**日

最亲爱的猫咪：

我还没有告诉你，星期天晚上从阿布奎基回营区途中发生的趣事。一切都很正常，直到公车抵达伊斯潘诺拉（Espanola），我看到那儿五光十色，还有个摩天轮，原来是有一座流动游乐场。因此，我没有考虑接下来该怎么回营区的问题，就下了车直奔游乐场而去。

我坐了一趟摩天轮，接着又坐了一趟旋转飞椅，就是用两条链子把椅子吊住，然后旋转起来的那种游戏。他们还有很多玩意儿，譬如投圈圈或掷棒球等，可以赢取奖品，像基督雕像或大布偶之类的东西。我没有玩，因为我看那些奖品都不怎么样，没什么吸引力。

我看到3个小孩很想坐小飞机，一直在旁边流连，就付钱请客，让他们坐上去开开心。

这只是一个很小型的游乐场，但很好玩。

后来我就搭便车回营。我在路旁站了不到一分钟，第一辆路过的车子就停了下来，让我搭便车。其实是我开车，因为车上的司机已经太累了。车上还有3个女孩，不过长得实在相当安全，我就一直保持正人君子的风度，一点也不用给自己施加耐力。

我爱你，小宝贝，在游乐场里，我想的都是你。我们以前在游乐场玩得多开心。快快好起来，我们可以再去玩。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**23**日

最亲爱的猫咪：

我昨天晚上参加了镇议会，有一大堆一大堆的人，过程非常嘈杂、喧闹。

你知道发生了什么事吗？原来上面颁布了管理男生宿舍和女生宿舍的新规定：不准男生在夜间于女生宿舍逗留，男性访客只能待在会客室。而所谓的会客室，不仅人来人往，还彻夜灯火通明，连半点气氛都没有。而且他们这些规定还不是说说而已，真的拿鸡毛当令箭硬干起来，派出一堆宪兵守在女生宿舍门口。宪兵哪！真是笨。其实每个宿舍本来就派了舍监做全天候的管理（24小时，包含我住的宿舍也在内），我虽然不知道他们管理什么东西，但想必是不准过度喧闹、扰人安宁之类的事。

由于这些规定深深影响住宿的人，而他们既没有事先得到告知，也从不曾参与相关的讨论，宪兵忽然就出现了。大家对这种黑箱作业的决策过程非常恼火。他们一致表示，自己可以管理这类芝麻小事，不必惊动宪兵大人。而且有些宿舍本来就组织了管理委员会，也有自治公约。这些有委员会的宿舍，原本已经存在相当畅通的申诉渠道。

我也和别人一样恼火。最后建议，由于镇议会也是管理宿舍内居民行为的单位，我们不能同意这种新的管理规定，要求当局立刻改正，等等。

因此，大家要求当局依照我们的决议来执行，而警卫只能在白天打扫的时间出现。我们要看看接下来会怎样。

他们（当局）也规定，一般人在上班时间如果要外出，必须得到领班以上人员的许可条（我想是要检查是不是有人溜班）。这限制了一些

自由度。

有人很愤慨地站起来发言，说：我们又不是犯人，这里也不是监狱。如果按照那些新规定，我们倒是想知道，是陆军的哪个单位，要依什么罪名把我们逮捕。

大家都非常激动。

我爱你，亲亲。而且，我不记得这些年来，曾经到过女生宿舍去。

爱你！

理查德·费曼

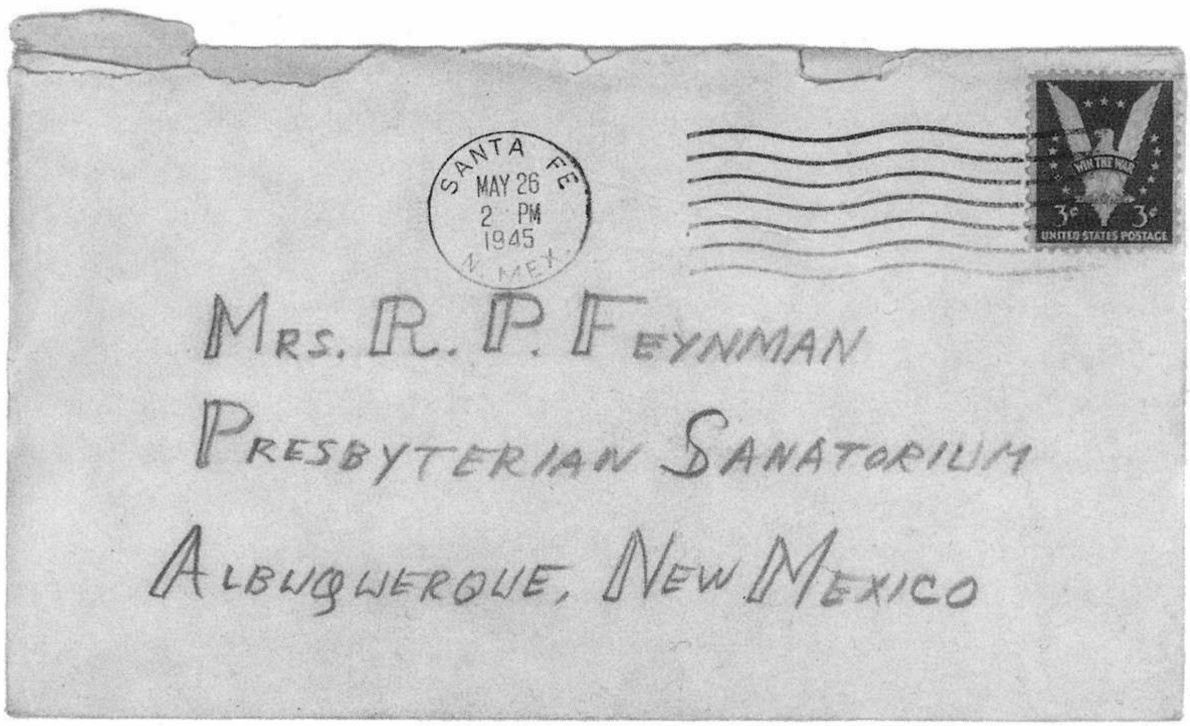
费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**24**日星期四晚上

最亲爱的猫咪：

我想念你的信。或许你偶尔可以要你爸爸或护士，为你写张明信片给我，告诉我你的情况究竟如何，或者你爱我之类的。

我们的镇议会又开了一次会，这次是每个宿舍派出一位代表与会。我正好也由我住的宿舍选为代表（他们昨晚开会选代表，我有事不能参加会议，就当选了）。大家交头接耳，小心翼翼地嗫嚅了一会儿，最后还是我想出一个主意来。我提议大家签署一份文件，表示我们可以自主管理自己的生活方式。最后我们就按照这个提议进行，在一份拟好的书面声明上，大概有20几个宿舍代表签名。声明表示，我们可以负责管理自己的宿舍，如果有任何困难的话，镇议会也可以处理云云。我们认为军方大可不必多此一举，派人来介入我们的宿舍管理。当然，书面声明的语气很客气，还谈到效率什么的。这篇声明稿写得很不错，或许我们能够成功得到管理主导权。

昨夜，我到一位你并不太熟的朋友家里吃晚饭，座上正好有一位我非常佩服的意大利冶金学家。我觉得他非常聪明，饭后我们还闲聊了一会儿。晚餐的菜很棒，气氛也非常好。我像平常一样，没有打领带，也没有穿大衣。只有我一个人这样。不过，以后我到任何人家里去作客，都不能太正式了，否则碰到多心的人，一定会觉得我对朋友有差别待遇。



我爱你，小宝贝，你怎么了？我很快就能再看到你，再两天就是星期六了。

我爱你。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**5**月**31**日星期三上午

最亲爱的猫咪：

离我们这里大约20千米的北方，发生了一场森林大火，已经烧了两天了。我从窗户看出去，就看到一股浓烟。晚上还看得见火光呢。

昨天他们征求志愿的救火员，我也和大家一起上山救火。不幸的是，救火人员的组织不是非常有效，我可以说是白费了一天的时间和力气。我们（170人）开了一条3千米长的防火巷，但只有半米的宽度。我们还必须穿过树丛或倒下来的树木这类东西，还真是费力呢。可惜的是，他们并没有留下巡视人员来巡视火场，只是当火往上烧的时候，告诉我们这些开辟防火巷的人赶快下山。在下山途中，我就发现有4个地点又开始闷烧了，而且都在防火巷的另一端。如果有人巡视，就可以把闷烧的火源及时扑灭。

现在，他们又要征求志愿救火员了。不过这次我不参加了。我昨天已经白费了一整天的工夫，今天我可有得忙了。我们昨天是下午3点出去，到凌晨3点才回来的。

好消息，我加薪了，幅度还相当可观。我以前的薪水是380元，扣掉所得税和一些杂七杂八的费用，大概实拿300元。现在，我的薪水调到450元，但我不知道扣东扣西之后，会剩多少钱。但一定会增加就是了，我一算出来就立刻告诉你。看起来，我的工作成绩还不错。现在他们既然给我调薪，应该也会调整我的工作。

你常说，生命充满了奇迹。当我们的花费增加时，我们的收入也跟着增加。

我爱你，小甜心。

理查德·费曼

费曼写给妻子阿琳|**1945**年**6**月**6**日星期三夜间

我的爱妻：

我总是那么迟钝，总是不能很快进入情况而使你苦恼。现在我总算知道了。我会尽力使你快乐的。

我终于明白，你的病情多么严重。我已经知道，不该要求你做这做那的了，也不该要求你麻烦别人再为我做些什么。现在不是对你提出任何要求的时候，而是应该顺应你的需求，让你舒服一些，好过一点。而不是照我那些自以为能让你舒服一些的蠢办法。现在是以任何你希望的方式，来爱你的时候。不管是要求我不要来看你，或要我握住你的手，或任何事，我都依你。

这一关会渡过的，你会再好起来。你或许不相信，但是我相信，所以我现在先乖乖听你的，以后再要利息。现在，我是你的亲密爱人，在你最困难的时候，愿意为你付出一切。我是你先生，需要帮忙就打电话来，或是叫我过去，都随你的意。我什么都知道了，我要让你安适。

我这个星期会去看你。但是如果你觉得累，不想被打扰也没关系，只要和护士说一声就行了。我会了解的，亲亲。我会的，我什么都知道，我知道你病得很重，没有力气说明什么。我不需要任何说明和言辩，我爱你，深深爱你。我会以了解的心为你做一切事，不问任何问题。

我后悔自己没有尽责做个好支柱，在你需要的时候，常常不在身边。现在，我会是你可以信赖的男人。对我要有信心，相信我。你现在病势这么重，我不会再令你不开心了。尽量差遣我吧，我可是你先生呢。

我深爱着一位伟大又有耐心的女人。而我的反应这么迟钝，请原谅

我。我是你丈夫。我爱你。

※米歇尔注：阿琳于费曼写此信10天后（1945年6月16日）去世。

费曼致母亲卢西莉|**1945**年**8**月**9**日

世界第一颗原子弹，已于7月16日，在新墨西哥州的沙漠试爆成功。8月6日，原子弹落在广岛；8月9日，又一颗落在长崎。

亲爱的老妈：

现在我是在辛辛那提等飞机回去。你看我多笨，居然会没记性到连自己妹妹放暑假都忘了，还问她学校的情况如何。我发完电报给琼恩之后半小时，才想起她放暑假这档子事。

现在，报纸上有很多关于原子弹的消息了，所以我可以告诉你们一些我知道的事情。还记不记得我星期六晚上，搭飞机离开你们？大约是星期天中午就回到阿布奎基。有辆军车在机场等我，立刻载我回基地，大约下午3点钟抵达。我就直奔老板家里，他太太为我们赶制了一些三明治，让我们带在路上充饥。我们全部依计划搭巴士在下午5点离开，要赶到阿布奎基南方约160千米的地方去。因为我们要亲眼看看自己所做的原子弹试爆。如果天气允许的话，原子弹预计在星期一凌晨4点引爆。

大概有3辆巴士挤满了许多焦急的科学家，一路上飞速前进。途中还发生了一些有趣的事。首先，是这些科学家都站在路旁，然后其中一个人跑进树丛里耽搁片刻（不是我），后来一个跟一个，很多人跑去给树浇水。第二是当我们到达阿布奎基这个新墨西哥州的第一大城时，全城都沦陷了。所有杂货店、咖啡店等地方的洗手间，都让同一伙人给占领了。这也可以看出阿布奎基有多大了，它还真小！

终于我们到达目的地，那是沙漠边缘的一个高崖上，可以俯瞰整个沙漠。而试爆点就在沙漠的中心，离我们观看的位置大概有30千米远。原子弹是安装在一座30米高的铁塔上，但在这么远的地方，不可能看见铁塔。不过我们知道朝哪个方向看，因为不时有探照灯扫射，并照向天上的云。当天的天气很差。

上面发给每人一块黑玻璃，就是电焊工面罩上的那一种。我透过这块玻璃看手电筒的光线，却什么也看不见。接着每个人都找块地方坐下来，胡乱吃些东西填肚子，等待凌晨4点钟来临。好在有老板娘准备的三明治，里面有烤鸡。我们还带了一些柠檬饮料和巧克力。

我们有两台无线电设备，一台是双向的，可以听也可以讲，用来和地面的管制站联络。另一台只能听不能讲，信号由空中的一架飞机发射出来。这架飞机飞过爆炸地点的上空，拍摄照片，投下度量仪器，而且从空中观测原子弹爆炸是什么情形。我试了一下无线电设备，要接收飞机发出的信号，却发现我这一台不能用。

事前已经有人把飞机的通信频率告诉我。我调到那个频率，没有声音。接着我调整天线的位置，把每个开关和旋钮都转来转去，但还是静悄悄的。同时，我们听说由于天气的关系，试爆会延后。我能接收到的最接近的频率，只有旧金山某个短波无线电台播出的音乐。而这正好让我可以尝试把每个旋钮都转到正确位置（这台无线电机有10个旋钮，但是没有人知道，哪个旋钮是要干什么的。有了旧金山短波电台的音乐，我东试西试，终于找出每个旋钮的用途）。最后，我把所有的旋钮都转到最正确的位置。

这时，我忽然想到，为什么大家并不担心另外那一台无线电设备有没有问题呢？原来是负责那台无线电设备的人一直忙着回答别人的问题，根本没有做测试。我拿起那台可以和地面管制站通话的无线电设备，想问他们知不知道飞机发射出来的电波频率是多少，但是对方也忙

着呢。后来，当我走回来的时候，发现同僚里面有个无线电专家，正站在大伙儿前面手舞足蹈，因为无线电机里已经发出清晰的声音来，一切都没有问题了。“好极了，我们看见你们的探照灯光了，完毕。”我觉得自己真是笨手笨脚的。我想，这个电子学小伙子真是对无线电机有一套。我问他是怎么弄的。他说他什么事都没干，只是走过来，声音就传出来了。原来飞机刚刚才发出信号来。在此之前，他们都保持着无线电设备通信的静默状态，所以我什么也听不见。

听了几分钟之后（大约是5点钟），我听到无线电设备传来新的指令：“试爆将于5点30分进行，现在是试爆前30分钟，倒计时开始。”每个人都调好自己的手表，开始围到无线电机旁边来。“倒数10分钟”，接着是“倒数3分钟”。人们开始在山崖上散开，希望不要挡住彼此的视线。而且每个人都拿出黑色玻璃，有的人甚至拿出防晒油来涂抹。我想，这真是一群疯狂的乐观派。

我正好参加了原子弹威力的部分计算，我知道为了这次的试爆，要花多大的心力。如果真的能成功爆炸，我可要第一手的目击经验。因此，我不要用黑玻璃来遮住眼睛，我要直接看到它爆炸。不过我还是躲在武器搬运车的挡风玻璃后面，这样可以过滤紫外线；如果有很多紫外线的话，我的眼睛比较不会受伤。而且武器搬运车上还有一台无线电接收器。

这时候，我听到右边有人轻声说：“应该只剩下15秒了。”我躲在挡风玻璃后面，凝视着目标方向的漆黑夜空。会爆炸吗？所有的推理与计算都正确无误吗？

我被一道耀眼的银白色闪光，弄得暂时失去了视觉。我必须看出去。然而不论看向什么地方，眼前总是出现一个巨大的紫色光球，就算我闭上眼睛，这个紫色光球还是历历在目。我的科学头脑不断提醒自己：“这是目睹强光所产生的残影，并不是你看到的爆炸闪光。”因此，

我再回过头去看爆炸的方向。天空被一种明亮的黄色光照亮，而地面则呈白色。黄色光愈来愈暗，慢慢转为橙色。在爆炸点上方的天空里，我看到白色的云，这是紧跟在震波之后的空气急速膨胀所产生的。因为膨胀使空气变冷，空气里的水汽于是凝结下来，很像喷射机的尾迹。这是我们预期的事。

橙色愈来愈深了，但是爆炸点仍然是明亮的。一团明亮的橘红色火球，很像个实体的球。接着火球开始上升，有一股烟跟在后面。从下面往上看，很像是一根大香菇的柄。橘红色火球继续往上升，最后变淡而开始闪烁。一团直径5千米的黑烟和火焰出现，火球非常猛烈地燃烧，就像火势汹涌的油田大火，一下子是一团黑烟，一下子又变成一团大火。不久，橘色光芒消失掉，只剩下翻腾的黑烟。但这一切都给局限在一层美妙的紫色光晕里。我本来又以为它只是另一种残影，但我闭上眼睛就看不见这层紫色光晕，一睁开眼睛就又看见它。别人也说看见了同样的东西。可能是爆炸的高热，使空气游离所产生的一种现象。逐渐的，这些现象都消失了。现在，大的黑色烟球不再上升，留下长长的一股烟柱在它的正下方。

接着，突然出现一声巨大的雷鸣声响。我左边的人惊呼：“这是什么？”他是个作战部门派来的代表。我大声回答：“这就是原子弹的爆炸声。”他一时忘了，声音的传播速度比光慢很多，而我们在刚才之前，一直看到的是默片。它的声音比画面晚到了1分40秒。

我知道这次试爆成功了。连在30千米之外观看，也非常壮观。我现在还记得巨大的爆炸声在山谷里阵阵回响。

我们兴奋得跳上跳下，欢呼不已。大家一直互相拍背或握手，一面互相恭喜，一面暗自估算这次爆炸到底释放出多少能量。成效实在太好了，远超出任何人敢估算的数值。除了引爆地点之外，一切都非常完美。而下一个引爆地点应该会在日本，不再是新墨西哥州了。

最后我们又坐进汽车，开回营区去。途中，我们问一位司机，对这次爆炸感觉如何？他的回答是：“这个嘛，我不知道。我以前从来没有机会看这种事情，无从比较。”

后来的照片和观测报告指出，在爆炸中心1.6千米直径范围内，地面上覆盖了一层绿色，好像玻璃的釉料。那是地面上的沙子受高温熔融而成的。沙子是棕色的，釉料却是绿色的。从空中观察，景色很奇妙——在棕色的沙漠当中，有一块绿色的玻璃似的表面，中心还有个弹坑。

等我们回基地之后，把自己看到的情况告诉很多人，是件很有趣的事情。和我一起工作的人都集合在大厅听我讲，听得目瞪口呆。他们对自己参与的工作也深感自豪。也许我们能使战争早日结束。这种希望应该不算过分。我们接下来又继续工作。

有些探险队受命在阿布奎基附近的山里观测试爆过程。在看到天空的火球时，曾经非常担心自己的安危，害怕我们计算错误，使爆炸的威力把他们给煮熟了。爆炸的过程，三个州都看见了，四面八方横跨了320千米。害得阿拉摩戈多（Alamogordo）空军基地的司令不得不对外宣称，他们的弹药库发生了意外爆炸。

保重。

理查德·费曼

费曼致妻子阿琳|**1946**年**10**月**17**日星期四

这封信非常破旧，比别的信都陈旧得多。看起来好像费曼时常捧读。

亲爱的阿琳：

我深深爱你，甜心。

我知道你是多么喜欢我这样对你说。但我不只是因为你喜欢，才这样写的。我写这些话是有感而发的。当我写这些话给你的时候，有一股暖洋洋的感觉充满我内心。

自从我上次给你写信，竟然过了这么久了，几乎快两年了。但我知道你会原谅我的。你非常了解，知道我是个顽固的现实主义者。我认为写这样的信没什么意义，所以迟迟没有动笔。

但是我现在终于明白了，我的爱妻。我只是拖延一件该做的事，而这件事以前常做，是一件非常自然的事。我要告诉你，我爱你，我好想爱你，我永远深深爱你。

我发现自己很难解释，在你去世了之后，我为什么还这么爱你。我仍想照顾你，让你安适。而且我也希望你爱我，照顾我。我很想和你一起讨论问题，一起策划某些美好的事情。我从来没想到我们还可以一起做这些事，直到现在，我才想通了。我们可以做什么呢？我们可以一起学做衣服，一起学中文，一起装设电影放映机。我没有办法独立做这些事的。我如果没有你，会非常孤独的。你活在我心中，是个“完美的女人”，我们的一切疯狂冒险，你都是带头出主意的人。

当你生病的时候，非常担心，认为自己不能给我一些你认为我需要的东西。你其实不必担这个心。我当时就告诉过你，我没有什么实质上的需求。因为我如此爱你，爱你的一切表现与作为，爱你全部。现在，这种感觉更清晰也更真实。现在你不能再给我任何实质的东西了，可是我还是这么爱你。你让我无法自拔，不能再去爱任何别人了。可是我甘之如饴。你虽然死了，却比任何活着的人更美好。

我知道你会笑我这么傻，会希望我不要这样孤孤单单的，会要我去

追求幸福快乐。我敢打赌，你会惊讶我到现在连一个女朋友也没有（除了你之外，甜心），都已经一年多了呢。但是，亲爱的，这你可无能为力，我也没办法。我不知道为什么，因为我确实碰到过好几个好女孩，其中也有非常好的，我也不是想这样一个人过活。但是见了两三次面之后，我就觉得索然无味而心灰意冷。你还和我在一起，活在我心中。

我挚爱的伴侣，我真的深深爱你。

我爱我太太。但我太太已经羽化升天了。

理查德

附笔：

请原谅我没有寄出这封信。我不知道你的新地址啊。

第3部　从东岸到西岸|1946～1959年

物理学也有本身的价值和发展的权利；

即便国家仍处于非常时刻，外头的战事还没有完全结束。

第二次世界大战后，费曼决定不去大战期间为他保留职位的威斯康星大学，而决定到康奈尔大学去。他父亲在1946年10月去世，只比阿琳晚一年多去世。在费曼的生命里，这是一段黯淡的岁月。我们从这段时期所写的许多信中，那种无精打采的笔调，也可以感觉出他的低潮。他后来描述自己在这段时期的心情（摘自赛克斯所写的No Ordinary Genius）：

战后，我对奇妙的大自然有一股非常强烈的反应。这可能是来自原子弹本身，也可能来自其他心理原因……我认为国际关系和人民的行为将会有很大的改变，不会再像以前那样故步自封了。我这种想法出现得非常早，比任何最乐观的人所想的都更早。国际关系就像其他事务一样，我确信将在短期之内发生变化……在大家还没有警觉之前，苏联已经迅速做出原子弹了。其实我心底早就确知，他们也能做出来。因为，一个傻瓜能做得出来的东西，另一个傻瓜也能做得出来。

但是在专业上，费曼还是向着自己的方向迈进。1947年，他参加了雪特岛（Shelter Island）的一场国际研讨会（在24位与会者当中，不乏国际知名的大师，譬如：泰勒、贝特、派斯、拉比、冯·诺伊曼、惠勒、施温格、鲍林、兰姆和奥本海默等人），确立了费曼在自己这一行的专业领导地位。费曼后来得诺贝尔奖的量子电动力学研究成果，也可以回溯到这段时期。

1950年，他接受了加州理工学院的职位，并且利用他的第一个休假年，到巴西的里约热内卢去讲学。后来这几年的书信内容，大多是围着他的学术生涯在打转，例如：要求别人仔细阅读他的学术论文，看看有没有错误；不愿再受邀回洛斯阿拉莫斯工作而致歉……他的努力与成就得到相当的肯定，在1954年得到“爱因斯坦奖”。后来盖尔曼到加州理工学院来，两人很快就互相激励，产生了许多丰硕的成果。两人之间的合作和竞争的故事，现在已成为一则传奇。

1958年，我母亲温妮丝在我父亲的力邀之下，到了美国。遗憾的是，他们之间的通信极少保留下来。但是从同一年5月29日他写给温妮丝的信里，可以看出我母亲是个敢冒险的女人——敢在只见过几次面，还不熟悉的情况下，答应做他的女管家，从欧洲渡过大西洋，千里迢迢跑到美国来。

●中文版注：

泰勒（Edward Teller，1908～2003），美国氢弹之父，是较少反思核弹后遗症的著名科学家。

贝特（Hans Albrecht Bethe，1906～2005），核反应理论专家，1967年诺贝尔物理学奖得主，战后为和平主义者。

派斯（Abraham Pais，1918～2000），著名的理论物理学家，爱因斯坦的同僚，曾为爱因斯坦作传。

拉比（Isdor Isaac Rabi，1898～1988），原籍奥地利的美国物理学家，1944年诺贝尔物理学奖得主。

冯·诺伊曼（Joho von Neumann，1903～1957），原籍匈牙利的美国大数学家，计算机理论发明人。

惠勒（John Archibald Wheeler，1911～2008），费曼的老师，“黑洞”一词发明人，量子引力的主要创始人之一。

施温格（Julian Schwinger，1918～1994），美国物理学家，与费曼、朝永振一郎同为1965年诺贝尔物理学奖得主。

鲍林（Linus Carl Pauling，1901～1994），美国物理化学家，1954年诺贝尔化学奖及1962年和平奖双料得主。

兰姆（Willis　Lamb，1913～2008），哥伦比亚大学教授，1955年诺贝尔物理学奖得主。

奥本海默（J.Robert　Oppenheimer，1904～1967），“原子弹之父”，曾任普林斯顿高等研究院院长。

盖尔曼（Murray Gell-Mann，1929～），1964年提出夸克的概念及命名。1969年诺贝尔物理学奖得主。

费曼致康奈尔大学物理系吉布士（**R.C.Gibbs**）教授|**1945**年**10**月**24**日

亲爱的吉布士教授：

当我在几个星期之前，听说贝特先生几乎已经决定不来康奈尔，要到哥伦比亚大学去的时候，心里非常着急。我也尽力挽留他，希望他能维持原意到康奈尔来。你知道，我在一年前之所以选择来康奈尔，是因为本校在核物理的研究上，有一个非常有活力的研究团队。这样，我可以保持在这个领域的前进队伍里，随时提出一些和实验有关联的理论性问题与想法。贝特先生将是这个实验团队的灵魂人物，其他的成员还包括巴克、罗西、派瑞特、葛里森，当然我们也想到麦克丹尼尔和贝克。但是，如果贝特没有来康奈尔，巴克和葛里森也不会来（罗西已经决定不来了），这样一来，以我们这样的阵容，怎么能吸收其他的年轻科学家来康奈尔？

我决定11月还是先依照原订的计划到康奈尔来。因为现在日期已经非常接近了，而且我事先答应你来，你也把我计算在内了。但如果真是上面说的情况，我也不会待太长的。

我知道这里有很多年轻人是康奈尔需要的，我也和他们谈了一下目前的情况。当提起贝特、巴克和葛里森都不来康奈尔时，我很难说动他们前来。另一方面，如果上面那些人都能来，同时我们又能描述我们打

算进行的计划，他们都非常有兴趣。不幸的是，他们都有其他机会，而且对方又催促得很紧，因此，这些人对于康奈尔的混沌未明，失去了等候的耐心。由于这种情况，我们已经损失掉一位非常优秀的电子人才了。

因此在我看来，只有两种可能的情况。一是贝特（当然连带也包括巴克、葛里森和其他年轻人）到康奈尔来，使康奈尔的物理系变成全国最好的系所之一。另一是康奈尔的物理系处在很不利的窘境，无法吸引一些从军事研究中释放出来的优秀年轻物理学家。

我愿意全力促成第一种情况的实现。我的意思是说，在你退休之后，贝特先生可以安排成为物理系的系主任。从系务的管理与发展来看，我认为这将是一桩美事。

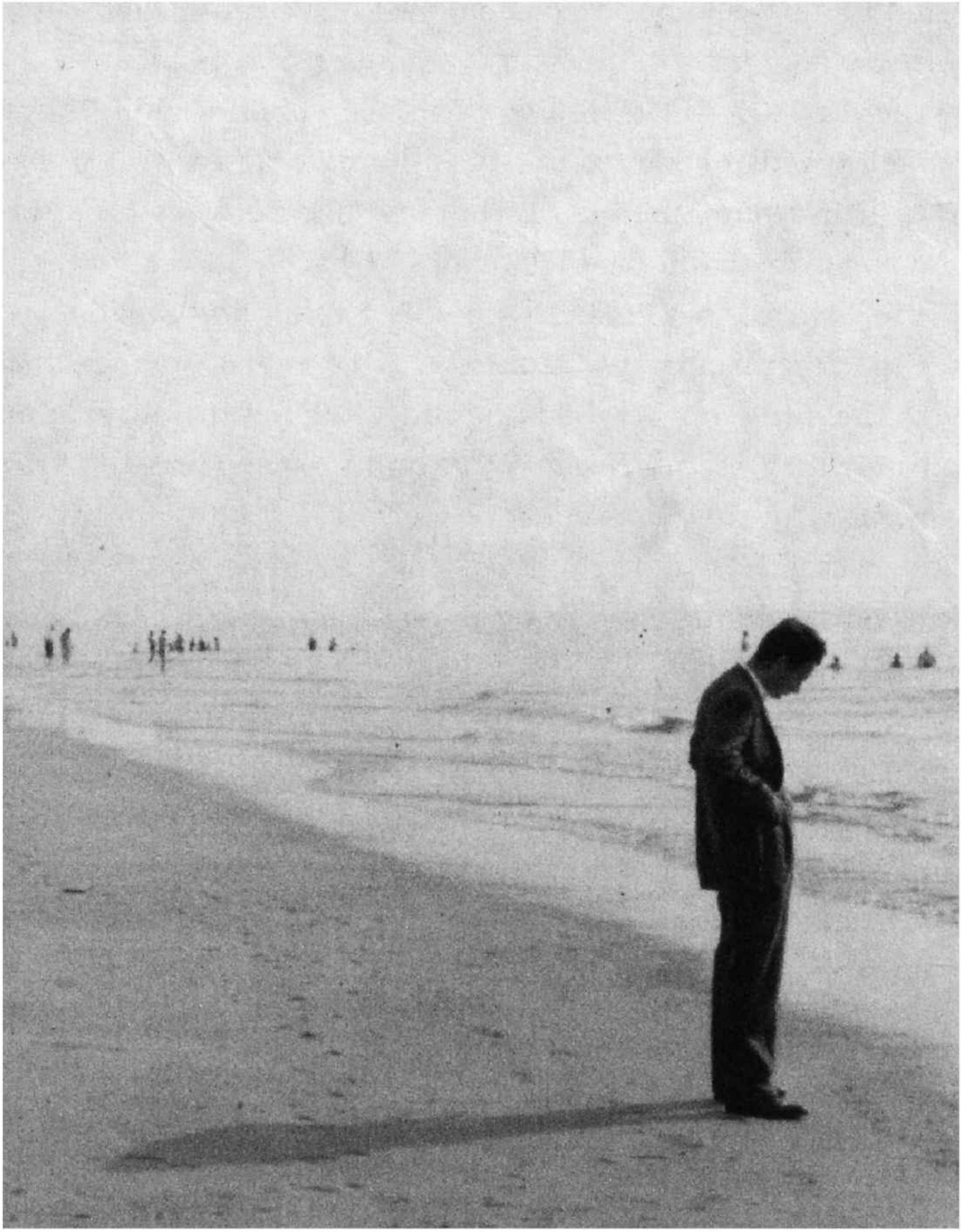
贝特先生在这里，已经是理论部门的负责人了。他以非常杰出的能力来管理这个部门，也得到非常耀眼的成就。每个人都感觉能自由自在地按照自己希望的方式来工作，而所有的工作都协调一致而得到完美的成果。而且你应该能了解，整个计划的决策，有赖于理论计算与推导的结论。因此具有这种能力的人，无疑是相当优秀的行政管理人才。

另一方面，如果他必须花太多时间和精力，来处理和研究无关的事情，其实也是物理学界的一种损失。因此，我认为最好的安排是另外设一位副主任，专门负责处理行政业务，让贝特先生尽量专注于研究工作。

我希望你能找出某种类似的安排，让各方人马都能满意。当然这件事愈快愈好，这是最为重要的。我希望自己能到一个有活力的物理系，成为一名活跃的成员。

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼在海滩上沉思，摄于1946年

费曼致加州大学伯克莱分校物理系奥本海默教授|**1946**年**11**月**5**日

亲爱的奥本海默：

我想去加州大学访问，但是看起来似乎没什么希望。

康奈尔有一大群研究生，人数从来没有这么多过。我们竭尽所能地安排他们。因为我也必须分担指导研究生的工作，因此系里非常勉强地同意我在下个学期离开。

另外还有一个私人因素。我父亲刚去世不久，我母亲住在纽约。我不愿意离她太远，至少暂时如此。

你知道，我是非常期待去伯克莱拜访你们的。我非常遗憾让你们失望，我自己也怅然若失。我也很想有机会和一些老朋友碰碰面。但事情就是这样，或许时机还没到吧。

诚挚的祝福

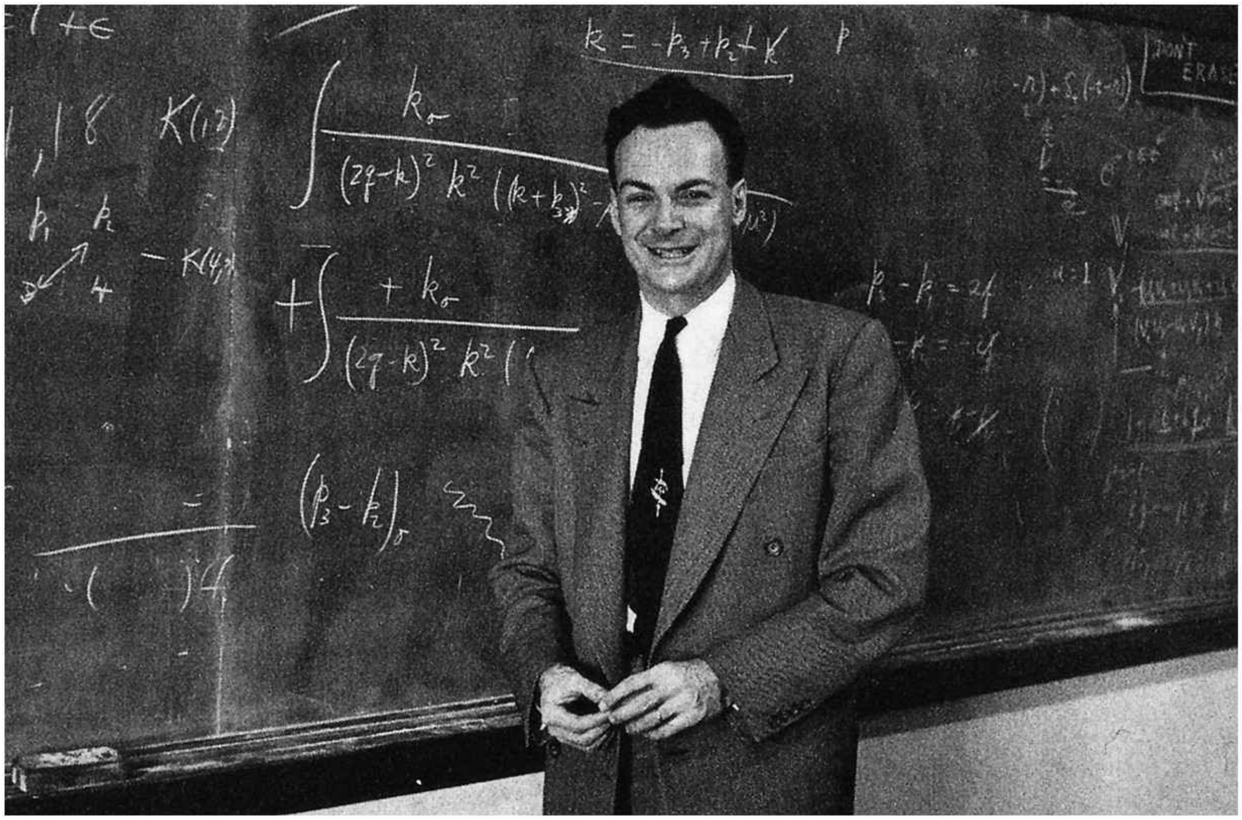
理查德·费曼

费曼致黎克特迈耶（**R.D.Richtmeyer**）|**1947**年**4**月**15**日

费曼稍早接到一封来自洛斯阿拉莫斯的邀请函，问他是否有可能在暑假期间，到洛斯阿拉莫斯担任两个半月的顾问工作，以及是否有意愿出席一场筹划中的核物理研讨会。之后，费曼写了这封回信。

亲爱的黎克特迈耶先生：

我暑假的计划还没有确定。现在只想到去闲逛，打发时间。至于会不会跑到新墨西哥州去，还不一定。



费曼在康奈尔大学的课堂上，摄于1948年

但是我不认为自己在最近的将来，有机会到洛斯阿拉莫斯做事。因此我应该尽快通知你，不必麻烦做类似的安排或考虑。我也不急着签这份空白合同，除非出现了非常明确的理由。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致劳伦斯（**E.O.Lawrence**，**1901**～**1958**）教授|**1947**年**7**月**15**日

劳伦斯是加州大学伯克莱分校的物理学家，1939年诺贝尔物理奖得主。

亲爱的劳伦斯教授：

我刚刚写了一封信给伯奇教授，告诉他，我明年不能到加州大学来。

这其实是非常难做的决定，似乎一切条件都非常优厚，除了天气不同之外。但另外的一项事实是我在康奈尔已经一切就绪了。当然，这两项原因都不是考虑的重点，因此，我要做决定就变得很困难。不过当我听说维斯可夫将不会去伯克莱时，我就决定明年还是留在康奈尔。

我真不知道应该怎么感谢你。我在加州大学的访问真是一段美好的时光。可能这就是你们的待客之道，也是每个在加州的人所过的日子。但对我而言却是特别美妙。请代我向沙比斯和麦克米连致上最深的谢意。也谢谢你太太和小孩，让我在加州时觉得好像回到家那么温馨。我们有一天一定会再相聚，这是毫无疑问的事。

诚挚的祝福

理查德·费曼

●中文版注：

维斯可夫（Victor F.Weiskopf，1908～2002）是原籍奥地利的美国物理学家，麻省理工学院的讲座荣誉教授，曾在欧洲粒子物理研究中心的关键发展时期担任主任。

新墨西哥州威廉生（**Jaek Williamson**）致费曼|**1949**年**3**月**25**日

亲爱的费曼教授：

我对原子核的结合力，有一种看法，想请教你。它们可能不是一种真正的力，而是一种大自然的时空特性所造成的结果。

如果时空结构会影响包含在它里面的物质，它难道不会是由非常小

的单位所构成的吗？就像反映出量子特性的那些基本粒子。而这种时空的基本单元或小包（packet），会不会像静电一样，带有斥力，小包和小包之间互相排斥，外面的力场无法作用到小包之内？

很可能原子的原子核，也是由这种小包，与包含在小包里的粒子所构成的？

接下来，要把小包凑在一起，构成原子核，需要能量。依它所包含的粒子与数目的不同，需要不同的能量。然后，我们把核物理所得到的有关原子核的质量和能量，用一条曲线表示出来，再依某种机制去计算，如小包摩擦系数之类的模型。

一个氦原子的原子核，是最简单的例子。只需要有一个这种时空小包就够了。因此，氦原子核的形成，是4个氢原子核结合在一起所构成的。原先的四个时空小包现在变成1个，多余的3个时空小包就释放掉了（1个时空小包，包含4个粒子，和包含1个粒子的能量差别，可以不计）。这种原子核的稳定性是没有问题的。接下来，对原子核里把每个部分束缚在一起所需的实际结合能，就可以加以计算。但是要注意下面两个条件：第一，时空小包之间的斥力，不能作用于单元之内的粒子。第二，原子核如果没有得到足够的能量，使它里面的粒子形成新的时空小包结构，它就不会分离。

另一方面，那些重元素，像镭或铀，它们的原子核不稳定是因为时空小包里包含了太多的粒子，过度拥挤，使得扩张的能量增加。因此，可以形成另外的时空小包，里面包含着α粒子或核分裂后的碎片。

如果这种想法可行的话，当然应该把现在已经知道的其他粒子也摆进来，譬如电子或介子（meson）。一个电子可能包含在空的或几乎空的时空小包里。这也说明了为什么它的质量和能量都那么少。它可能就是时空小包的量子。但是，我不知道对介子有没有什么简单的答案。

这种极微观尺度的时空小包，要怎么结合起来成为宏观宇宙的时空，这极微观与宏观之间的数学关系，在我看来，就是现在横跨在相对论与量子力学之间的鸿沟。

但我本身并不是数学家，也就是说，我无法把这个想法发展成一个完整的体系，也无法评估这个想法的价值。我甚至不太了解科学文献是否记载过这种想法。我觉得时空小包好像有点道理，可以避开原子核里各种不同的作用力，在逻辑思考上有它的好处。

如果你对我的想法，有任何的批评指教，我都万分感谢。附上贴好邮票的回邮信封，但愿你肯抽空回信。

诚挚的祝福

威廉生

费曼回信给威廉生|**1949**年**5**月**30**日

亲爱的威廉生先生：

我对你所提的有关核粒子如何结合的想法，非常感兴趣。可惜你的叙述还不够明确，因此我没有办法了解你的想法。我的意思是说，我不懂怎么解释时空小包的数学关系等。

正如你知道的，物理学上的理论要能用来预测一些我们本来不知道的事情，否则这个理论就没有什么用处。我不认为你的想法已经发展到可以预测任何东西的程度。

你举了一个例子，说明像镭或铀这类重元素的原子核之所以不稳定是因为“时空小包里包含了太多的粒子，过度拥挤”。问题是，当我们碰到像镭或铀这类重元素的原子核时，你是否本来就预期它会过度拥挤？

又为什么铜元素或铁元素的原子核不会过度拥挤？这个问题需要量化，以界定哪些元素的原子核够大够重，以至于不稳定。

我希望我提出来的看法，不会令你太过灰心或很受伤。我还是希望你能把自己的想法，尽可能说得更清楚、更精确。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致宾州大学物理系威顿（**T.A.Welton**）教授|**1949**年**11**月**16**日

亲爱的威顿：

我现在一点都不想出席学术研讨会做报告。我现在正在设法整理我研究的东西，很想有点自己的时间，只希望能待在一个地方好好地工作。另外，我也很希望能在什么时候，和你见个面。因此，我不知道自己该说什么。这样好不好，你可以在下学期的某个时候，再旧事重提，问问我？我可能身体不舒服或做累了，想出去透透气。

随信附上我论文的加印本。从你的来信，我觉得你没有认真看过我的论文，否则我相信你会觉得它其实很简单。尤其如果你相信我的证明是正确的，不去重新证明的话，那就更轻松了。你是知道我的工作方式的，因此这份研究充其量只能算是很好的猜想而已。后来我所有的数学证明，凸显出我对问题还没有彻底了解，但我认为其中的物理观念是相当简单的。你可以从提到正电子（position）的那部分开始。祝你顺利。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致纽约州罗彻斯特大学亚斯金（**Julius Ashkin**）教授|**1950**年**6**月**5**日

亲爱的朱利阿斯：

我把下一篇论文的手稿寄给你。希望你有时间替我看看，而且最好能像上两篇论文那样，把发现到的错误都挑出来。我和打字员手边只剩下两份手稿，因此它算是很珍贵的东西。但如果你没有时间仔细研究，还是可以留下来当作奖品，以感谢你上次为我论文费的心。

另一方面，如果你实在找不出时间来看，又觉得留下来也没什么用处，就请你把它寄还给我。因为贝特教授想要一份复本，当作他这学期教材中的一部分，我现在只能把打字员留下来的手稿寄给他。

你对这篇论文的任何意见，我都非常感谢。我会从加州把下一篇论文的复本再寄给你。

整理书桌的时候，我发现一张字条，要我把到罗彻斯特参加研讨会的单据寄去。因为发现的时间太晚了，我不好意思把单据寄给研讨会的主办单位。所以我把单据寄给你，看看有没有机会再报销这22美元。如果因为时间太晚，手续非常麻烦，就不必管这笔钱了。

我在加州理工学院的收入还可以。非常感谢了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致澳大利亚大学奥利芬特（**M.L.Oliphant**）教授|**1950**年**12**月**12**日

亲爱的奥利芬特教授：

感谢你和逖特顿（Ernest　Titterton）的来信，告诉我这个去澳洲的好机会。我仔细考虑了一下，还是要辜负你们的好意了。

我对于到世界上的其他地方去做研究，非常有兴趣。希望你们的研究计划非常成功。至于我个人，我明年是想到巴西去待上一整年，看看类似国家的科学发展到什么程度。现在，西方世界研究机构和科技大学的密度，显然是高得可怕了。

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼，摄于1950年。在费曼的生命里，这是一段黯淡的岁月

费曼致麻省理工学院原子核科学与工程实验室撒迦利亚（**Jerrold R.Zacharias**）主任|**1951**年**1**月**18**日

亲爱的撒迦利亚：

我写这封信给你，回复你的提议，并且替你省下打长途电话给我的钱。你说我的心智精灵古怪的，应该去和你们一起搞特务工作。

我已经决定不做这码事情。原因是，我不觉得自己在这方面有什么特别过人之处。我的专长和训练都是物理学，我认为自己做个物理学家会比较称职（只是还不知道该往什么方向去）。关于你提出的那些问题，我觉得应该有很多和我一样聪明的人可以处理。他们现在还隐身于茫茫人海的某处而不自知。或许是个销售经理，甚至可能是个罪犯。

不过我还是感谢你想到我，给我一个这样的机会。老实说，如果我看到自己的能耐可以直接发挥在物理学上，我对这种职务会更感兴趣。

或许，物理学也有本身的价值和发展的权利，即便国家仍处于非常时刻，外头的战事还没有完全结束。

诚挚的祝福

理查德·费曼

惠勒致费曼|**1951**年**3**月**29**日

亲爱的狄克（Dick，费曼友人对他的昵称）：

我知道你准备明年到巴西去待上一年。我希望到那个时候，国际形势的演变不会迫使你不得不改变计划。我个人估计在9月的时候有可能

爆发战争，相信你自己也有一个估计。希望你能先想一想，如果情况真的变得很紧急，应该要怎么办。你有没有可能接受在普林斯顿的一项全职工作？是有关热核的研究计划，时间至少能维持到1952年9月。

洛斯阿拉莫斯方面已要求普林斯顿全力投入这项计划。我会在5月回到学校去全力推动整个工作。史匹泽、苏瓦兹齐德、福特、陶尔都已开始部分或全面地投入，其他人也会挪出一部分时间来参与这项计划。史匹泽、汉米尔顿和我还负责招募人手。学校已空出一大栋的建筑物供我们的计划使用。洛斯阿拉莫斯正在准备起草合同。冯·诺伊曼、戈德司坦、黎克特迈耶也和这个计划有很密切的合作关系。这计划还会用到普林斯顿的MANIC（译注：这是世界上第一台大型电子计算机）。

在普林斯顿发展的计划，绝对不只是洛斯阿拉莫斯的下游工作而已。我们实际上是站在指导地位协助洛斯阿拉莫斯。我不能在这封信里详细介绍工作细节，也不能细谈我们在这几个月里的一些激动人心的新点子。它们和原先克利斯蒂（Robert Christy，曾参与曼哈顿原子弹工程的物理学家）所提的计划有很大差异。我们认为现在所进行的这项计划，对国家的安全非常重要，应该尽早完成，愈快愈好。如果你不以为然，泰勒和我都愿意与你见一面，好好谈一谈。

基于下列原因，我认为你应该认真考虑我们希望你前来协助的请求。

1.虽然核裂变和核聚变的研究，已经没有什么学术价值了，但是不可否认的，原子弹已经变成我们国防上的主要武力。在第二次世界大战的巅峰期间，我们每天约能生产相当于4000吨传统炸药的原子武器。以最粗略的方式计算，每天大约可以生产出1/5颗原子弹。也就是大约要700天，才能做出140颗旧式的原子弹。报纸上也出现很多对于核武器数量的猜测。最近如果问他们，关于核武器的报道，有没有请教过核物理学家的意见时，他们会说："核物理是很有趣的东西，但有关战争的事

情，应该不是核物理学家关心的。我们最好把物理的这部分忘掉，应该请教海军司令或陆军将领，如何在战术或战略上，发挥核武器的最大效果。”等等之类的话。但是其实在发挥最大效果这个方向上，还有很多着力的空间。有人经过许多研究和努力，结果可以提高2倍的威力。但是如果换一种方式，威力很容易就能提高个5倍到20倍，我们为什么要让最优秀的核物理学家置身事外，到处游荡，只忙着在2倍的成效上打转？以国家利益的角度来看，你把聪明才智用在这件事情上，比用在别处更有意义。于公于私，都是最佳选择。

2.普林斯顿的工作，很像开发脑力的工厂。我们负责基本的设计，洛斯阿拉莫斯也做一部分设计工作，不过他们所负责的主要还是实务性的工作，要把实际的东西做出来。对我来说，能做基本设计和理论评估的人才，根本少得可怜，这才是我最担心的事。你在这方面可说是不二人选。

3.我们都集中在普林斯顿，可说是精英荟萃，群贤毕聚，一定能做出一番惊天动地的事业来。

4.我准备全力投入这项计划，我希望你也能同样地全心投入。眼看国际局势愈来愈紧张，真是令人忧心忡忡。但是如果你觉得局势并没有紧张到这个地步，我们的计划里面也有很高的比率属于纯学术研究，你可以把大部分的时间与精力放在那一部分，不是正好可以兼顾两边吗？

我写这封信的重点是：

（1）如果你现在能来，不管是到洛斯阿拉莫斯还是普林斯顿，对我们的计划都有巨大的帮助。

（2）如果你觉得危机并非迫在眉睫，但是仍然觉得它是存在的，因此你愿意很慎重地考虑加入核聚变的研究行业，这对我们大家都是很

大的鼓舞。

（3）如果你对第（2）项重点的意见是肯定的，能不能在下面的空白表格里，注明最快可以在什么时候，加入我们的计划？

（4）你愿不愿意打对方付费的电话到洛斯阿拉莫斯来给我？分机是2-2776。或写信给我，让我知道你的意向。

祝一切顺利

约翰·惠勒

费曼致惠勒|**1951**年**4**月**5**日，收信地址是新墨西哥州圣塔菲邮政信箱**1663**号

亲爱的约翰：

如你所知，我准备在明年的休假年出国到巴西去。我现在发现好像很可能去不成，心里很懊恼。但除非此事已经确定，否则我还是不想承诺明年的其他工作。

祝你一切顺利

理查德·费曼

费曼致母亲卢西莉|**1954**年**8**月**30**日

亲爱的老妈：

听你的朋友说："你一无所有，只在旅馆里有个小房间，没有家人和朋友陪伴，生活单调无聊。你做的事既没有什么变化，也没有什么未来，每天只是一些例行公事。你不能写自己建立什么。除了和大家推推

挤挤之外，没有方便的交通工具。也没有丰盛的食物，没有豪华的旅行，既没有名声也没有财富。孩子们也不常给你写信。你一无所有。”

虽然你的朋友这么说，可是他们全错了。财富不能使人快乐，游泳池和大别墅也不行。没有一件工作本身是伟大的或有价值的，名誉也一样。到外国去玩乐，更是毫无意义。主要是你的心态——只有当你用心在你去的地方，那地方才有意义；用心在你的工作，你对工作才有感觉；用心在你的屋子，就会觉得“室雅何需大”了。如果你的心态是正确的，那么就会处处如意，事事欢喜了。你的心思可以一下子飞到撒马尔罕，一下子又回到哈德逊河。但内心的宁静却很不容易达到。这和物质条件没什么关系。在大房子里和在斗室中，情形是同样的。在任何工作上，都可以存着一种感恩的心态。你的那些富朋友，才真的一无所有。如果他们不能保持一种谦卑的态度，财富并不是牢靠的，很容易会失去。

我们的国家是个物欲横流的世界，一般人很容易在当中灭顶。因此，你要为自己找个停靠的小港湾。你现在离完美的喜悦还有一段距离，但是如果愿意努力，你是做得到的。就像你的化妆术一样，做起来并不难。这是一项伟大的成就，你也会因此成为伟大的女人。

为什么我要写这封信？因为你说这些事说了很多次。每次我总是含糊其词地点点头，表示了解。但是你一说再说，仿佛我听不懂似的。由于了解你的人这么少，每个朋友都问你，每个亲戚都质疑你，你怎么能住这么小的房子？你怎么能在那么差劲的店工作？和那些那么可怕的女售货员一起上班？你知道为什么，但他们永远不会知道。他们也不能心甘情愿地过任何不一样的生活。因为他们不像你，缺乏一种坚强的内在和伟大的情操。这种伟大的情操是来自对物质欲望本质的彻底了解。人想要的很多，但需要的很少。它是一种内心的平静，已超越了贫穷，超越了物质的享受。

我可以把所有的财富都给你。你随时可以要1万美元之内的东西。我说过很多次了。但是你连10块钱的小东西都不肯花我的钱，不要我买给你，我该怎么办？我以后不会再去烦你了，我以后不会再去问你需要什么东西。但是请你记得，你想要的任何东西，只要做得到，我都会买给你，不管是我现在的能力或未来的能力所能及。你不会没有安全感的。虽然你并不想要什么东西，连最小的东西都不让我费心。一个不满足的人是永远不够富有的，欲海难填。但一个人若没有什么物欲，反而会觉得很满足。不必担心你会需要朋友的帮忙，没有人强迫你过什么样的生活。你的儿子足可以供养你。

这是你的生活、你的选择、你的单纯、你的平静和你的心甘情愿，不需要旁人来说三道四的。

而我可以提供所拥有的一切给你。就算我是个自私的小气鬼，也敢这么做。因为我知道，你根本什么都不要。

每次我问你到底需要什么，答案总是千篇一律的，要我常写信。听起来，我真是个不孝子，连这么简单的事都做不到。但是我知道你的能耐，你是个这么自信的人，在目前根本什么都不需要。虽然我心里明白，就算没有我的信，你也一样活得欢喜自在，而且习以为常。我并不是想测试你的能耐，或增加你的生活负担。一个母亲对儿子的要求这么少，当儿子的还有什么话说？

我该做的事已经很清楚了，就剩下立刻行动了。我从今以后应该以这件事为戒，开始常写信给你。我希望能从你对生活的态度上得到启发，更常为你的生活添加一点乐趣。我不再问你要不要什么了。你若需要什么，尽管随时开口。我希望以后更能常写信给你，满足一个母亲对儿子的渴望。我爱你。



费曼与母亲卢西莉，摄于20世纪50年代

你儿子

※米歇尔注：由于不愿意长期和儿子各分东西，不易联络，在1959年，卢西莉终于决定离开纽约，搬到加州帕萨迪纳，好离儿子近一些。

费曼致美国国务院|**1955**年**1**月**14**日

敬启者：

昨天我接到苏联大使扎洛宝（Zaroubin）的信，邀请我到莫斯科去参加一场科学研讨会。我在信里附上邀请函的复本。

这件事让我很讶异，一时不知道该怎么办才好。虽然他们在邀请函里强调，这是一场纯科学的研讨会。但是以我国和苏联目前的紧张关系来看，邀请我这件事显然不会那么单纯，一定有些非科学的考虑在内。我相信国务院对这件事一定很感兴趣，也一定会有反应。如果你们可以给我一些应对的意见，我将非常感激。在这件事上，我愿意配合你们的想法，充分合作。

苏联开始邀请国外的科学家参加研讨会，是不是代表他们的政策开始有点变化？我们能不能希望这是和这个国家恢复正常科学关系的第一步？我们可不可以利用这个机会，去了解到底苏联的科学家都在想些什么？去看看苏联科学界的运作是否健康？我有没有被他们扣留而回不来的危险？

在第二次世界大战期间，我曾参加原子弹的研制计划，只不过以后就没有再接触过这方面的事务。我是个量子电动力学和基本粒子理论的专家。这些科学领域目前还没有什么明显的军事用途。因此，如果他们研讨会的邀请对象是全球性的，那么邀请我也是很自然的事。另外有个可能性是，我曾写过一封信给苏联科学家朗道（Lev Davidovich Landau，1908～1968，1962年诺贝尔物理学奖得主），讨论他寄给我的几篇论文。我把这些东西的复本也附在信里。这封信对方并没有回。你们知不知道还有哪些科学家受到邀请？



费曼打鼓，摄于20世纪50年代第二次世界大战后的费曼，特立独行的风格，在物理学家圈子里愈见突出。

如果你们觉得该怎么做对国家最有利，我都愿意配合。就算对我个人有些危险，我也在所不惜。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致美国原子能委员会|**1955**年**1**月**14**日

敬启者：

昨天我接到苏联大使给我的邀请函，请我到莫斯科去出席一项国际科学研讨会。随信附上邀请函的复本。我不知道应该怎么办，已经写信给国务院，征求他们的意见。

我认为你们对这件事也许会有兴趣。因为我在第二次世界大战期间，曾参加洛斯阿拉莫斯的原子弹研制计划。因此，我可能会回不来，另外，也必须考虑到社会大众对此事的看法。如果你们对这件事有什么建议，我将非常感激。

诚挚的祝福

理查德·费曼

电报：费曼致国务院|**1955**年**2**月**17**日

关于苏联国家科学院邀请我赴莫斯科参加科学研讨会一事，请参考我1月14日的信。扎洛宝今天表示，苏联国家科学院愿意负担我的来回机票和旅费。我应该尽快回复，以便有时间做各种安排。能不能请你们告诉我你们对这件事的看法。

理查德·费曼

费曼致国务院科学顾问助理鲁道夫（**Walter Rudolph**）|**1955**年**2**月**24**日

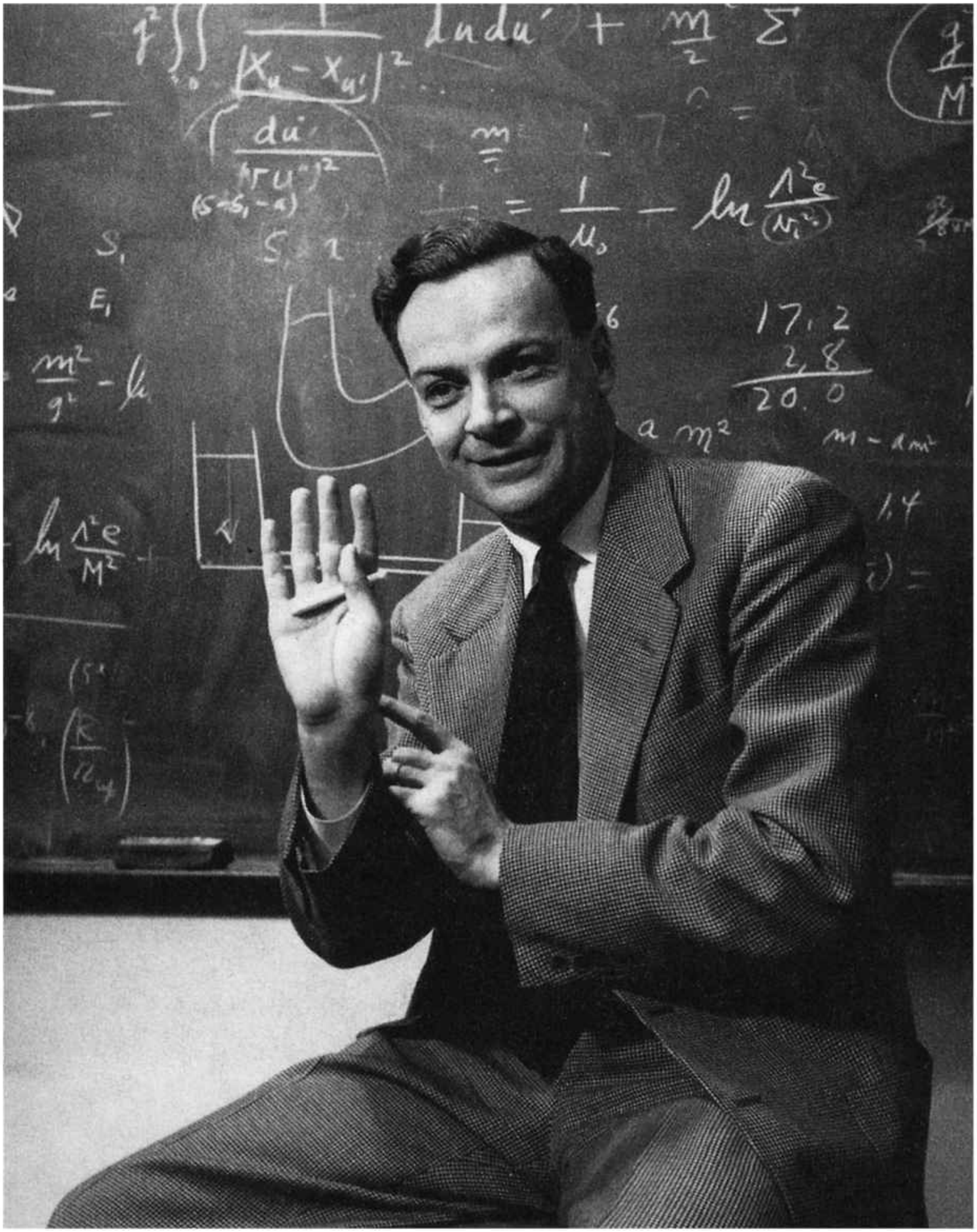
亲爱的先生：

一个月以前，我写了一封信到国务院（但没有直接写到你的办公室来），告诉他们，我收到一封邀请我到莫斯科出席“量子电动力学与基本粒子”研讨会的邀请函。这项研讨会是由苏联国家科学院召开的，邀请函则由苏联大使馆转交给我。我对于能够去苏联很感兴趣，这种科学的交流和研讨会也值得鼓励。另一方面，由于我国和苏联的关系很敏

感，或许有很好的理由认为我不该出席。我就是询问国务院对此事的看法，但是没有接到任何回音。上星期，我甚至发出一封电报，依然如石沉大海。

由于这些信并没有指明特定的收信人，在处理上势必受到耽搁，甚至根本就迷了路，不知道跑到哪里去了。因此，这里的高柏弗里博士就建议我直接写信给你，他认为这样应该会比较好。

我剩下的时间不多了，因为会议召开的日期是3月31日，而在此之前，我必须在3月1日以前交出论文摘要，并且开始准备论文。我还要办理护照、签证之类的事情，也需要安排机票和交通。由于没有接到你们的任何意见，而我又必须做出某些决定，我已经初步决定接受邀请。如果你们有任何反对的意见，希望能立刻通知我。



费曼在加州理工学院任教，摄于1955年

我现在的护照不能到苏联去。国家科学院的阿特伍德先生已把我的

护照拿到国务院去，办理出国相关事宜。我希望这件事不会拖太久。

我很诚恳地再强调一次，我非常乐意和国务院配合。拒绝出席会议对我而言是轻而易举的，完全不成问题。我没有被剥夺权利的感觉。我们和苏联的关系这么敏感，我相信你们远比我个人，更能做出正确的判断。

另一方面，如果没有反对意见，我倒是很想去参加研讨会。你能不能给我一个回音？就算暂时还没有决定该怎么处理，也不要紧。至少我可以知道，这封信和其他信有人收到了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致美国国家科学院阿特伍德（**Wallace W.Atwood**）先生|**1955**年**2**月**24**日

亲爱的阿特伍德先生：

非常感谢你关心我赴莫斯科出席国际研讨会的事情。尤其是你特别从华盛顿打电话给我，讨论这件事，更是令我感动。不过，我还没有收到国务院的任何消息。

你说愿意注意一下我护照的问题，让我十分感激。本来我是希望通过其他的正式渠道，不去麻烦你。但是当我打电话到洛杉矶的护照办理机构，询问去苏联的细节时，他们都笑了起来，表示我不可能获得前往莫斯科的许可。当我表示相当坚持时，他们就要我直接写信给国务院。由这种情形看来，如果我通过正式渠道申请，一定是走不通的。因此还是只能劳驾你。

我希望你不介意，帮我个忙。我把护照也随信寄上，你能不能把它交给国务院，希望他们能允许我到莫斯科去开会。我今天也会直接写封信给国务院的人，告诉他们这件事。由于他们一直没有回我前几封信，我认为他们应该会发出同意的证明，允许我到莫斯科出席会议。你可以把我的护照带过去给他们。我也会写封信给苏联大使，告诉他我很想接受邀请，只是我去苏联的护照还没有办下来。

如果护照的问题解决了，你能不能把我的护照送到苏联大使馆，办好去苏联的签证之后再寄回来给我？

请你帮这些忙，我觉得很鲁莽，更何况我们根本还不认识，也没见过面，更是不好意思。

我非常感激你和你的协助。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致苏联国家科学院院长内斯米耶罗夫（**A.N.Nesmeyarrov**）先生|**1955**年**2**月**25**日

2月16日，苏联国家科学院发了一封信给费曼，告诉他参加研讨会的旅费和食宿费都由该院支付。

亲爱的内斯米耶罗夫先生：

我很感谢国家科学院的邀请，要我去莫斯科参加从3月31日到4月6日的“量子电动力学与基本粒子”研讨会。你们更慷慨地为我支付来回旅费和食宿费，让我在没有任何经济负担的情况下，轻松与会。

我准备接受你们的邀请，出席研讨会。只是这件事还有一项不确定

的因素，就是我的护照不能到苏联去。我必须得到国务院的批准，才可以得到有效的出国证件。这件事我已经正式提出申请了。如果他们同意，我一定会出席。真不好意思，到了这个时候还没有办法给你一个确定的答复。感谢你在这件事上的耐心。

邀请函里也希望我在这个时候提出我想发表的论文。我想这应该是一份论文摘要，不是完整的论文。可惜的是，我在这领域正好没有还没发表过的原创性成果。我附上一些和这个领域有相当密切关系的问题摘要。或许你会觉得这些问题偏离了研讨会的主题，不适合在会上发表。如果是这样，请别迟疑，立刻通知我。我另外也准备了两篇论文，或许你们对其中的某一篇会有兴趣。第一篇谈的，是目前量子电动力学理论与实验结果之间的精确度比较，并且对一些尚未解决的理论问题做了一番探讨，让前面的比较在意义上更加完整。另一篇谈的是，最近在纽约的罗彻斯特有一场高能物理的研讨会。我可以写一篇有关这场研讨会的摘要性文章，尤其是强调近来关于介子的实验成果，这些都是还没有在国际性的科学期刊公开发表的东西。当然，这些东西都不是原创性的工作，而且或许已经有别人准备发表类似的题目了。如果你们对其他东西也有兴趣，我也可以为基本粒子的理论物理现况，做个详尽的概述。或者我需要讲些更专门的东西，例如一些还没有完成的原创性工作。对于介子，我有个很雏形的理论，是和闭回路图的效应有关的东西。

如果你能告诉我，这些题目当中有哪个最适合在研讨会上发表，我将感激不尽。这样，我就可以集中全力，好好准备一篇可以发表的论文了。

我对液态氦的理论也做了一些研究工作，可能朗道教授对这部分会有兴趣。我知道他在这方面下了很多功夫，或许我有机会和他非正式地谈谈这部分的进展。如果在研讨会之外的场合，他希望我就这个题目做一场正式的演讲，我也非常乐意。

我再次对你的盛情与慷慨表达谢意。我希望自己最后能赴会。不管怎么样，我相信这一定是一次非常成功的研讨会。

诚挚的祝福

理查德·费曼

原子能委员会尼古拉斯（**K.D.Nichols**）致费曼**|1955**年**2**月**28**日

亲爱的费曼教授：

这是回复你1955年1月14日的信。在那封信里，你说接到苏联大使的邀请，请你到莫斯科去参加苏联国家科学院举办的研讨会，会期是3月31日至4月6日。

我们审视了参加过美国原子能发展计划的现任或离职员工的出国旅行申请，我们的政策是尽量不干预他们的出访行动。除非这行动有可能危害到国家安全，或是对出访者本人有安全顾虑。

由于你在参加美国原子武器发展计划的过程中，曾经接触大量机密等级非常高的资料。我们认为你这次到苏联出席研讨会，会有一些不可预料的风险。因此，我们强烈地建议你，婉拒这项邀请。

我们很感谢你把这件事告诉原子能委员会。

诚挚的祝福

尼古拉斯主任

费曼致内斯米耶罗夫院长**|1955**年**3**月**14**日

亲爱的内斯米耶罗夫先生：

在上一封信里，我表示自己很想来参加量子电动力学研讨会。但是护照的问题还没有完全确定，我已经向国务院提出申请。现在，虽然国务院还没有正式答复我，但情况已经发生变化。我已经确定无法出席研讨会了。希望我的游移不定，不至于对你们造成太大的不便。

我还是对苏联国家科学院的邀请，表达诚挚的谢意。我相信那将是一场非常成功的研讨会，并祝你们一切顺利。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致国务院科学顾问助理鲁道夫|**1955**年**3**月**14**日

亲爱的鲁道夫先生：

谢谢你3月3日寄给我的，关于我2月24日致函的回信。

在我写信给你之后，原子能委员会的尼古拉斯先生写了一封信给我。他认为由于我在战争期间曾经接触很多相当机密的资料，使得我这趟苏联之行充满了不能预料的风险。因此建议我不要去。

我已经决定接受他的意见。因此，我撤回前往苏联旅行的护照申请。阿特伍德先生会替我去把护照拿回来。

你知道的，除了护照的问题还未解决之外，其实我已经接受了邀请。我刚写了一封信给苏联大使，表示我的护照问题虽然没有遭到否决，但现在由于客观形势的改变，我已经不可能去莫斯科出席研讨会了。这封信和其他的相关信件，都一起附上。

我不知道，如果国务院对民众寻求协助的要求，能更迅速地回应，使民众避免这种尴尬情况，是不是会更好？

诚挚的祝福

理查德·费曼

美国国务院苏联事务办公室司徒塞尔（Walter J.Stoessel）致费曼|1955年3月15日

亲爱的费曼博士：

我收到你在1955年1月14日给国务院的信，以及后来你和科学顾问办公室与国家科学院之间的通信。谈到你接到一份到莫斯科参加“量子电动力学和基本粒子”研讨会的邀请函。研讨会的主办单位是苏联的国家科学院，日期从3月31日到4月6日。主办单位还提供你旅费和食宿费。我们对于你是否出席这项研讨会之所以迟迟无法做出决定，是因这件事牵涉的部门很多。尤其你在第二次世界大战期间，曾参与我国的原子武器研制计划。现在，基于这一方面的顾虑，我们认为你不应该到苏联去，最好婉拒该项邀请。

不管苏联是不是开始大量邀请西方科学家到他们国家访问，或送出科学家到海外来，如果因此认定，苏联对国际间科学资讯的交流，基本态度已有所改变；这种断言未免下得太早了。有强烈的迹象显示，苏联政府这次的行动有高度的宣传目的，企图让大家误认为苏联在国际事务上已经变得比较开明、务实。

事实上，苏联对于建立更正常的科学关系，进行互利的科学技术交流渠道，反而不太在意。在这种情况下，西方科学家出现在苏联境内举行的研讨会，就很有宣传价值。比西方科学家和苏联科学家一起出现在某个国际组织或团体所举办的研讨会，更有宣传效果。

诚恳地祝福您

司徒塞尔

费曼致科学节目审议委员会的波恩（**Ralph Bown**）**|1958**年**3**月**7**日

华纳兄弟公司为贝尔集团拍摄了一系列的电视节目，请费曼当科学顾问。费曼也答应了。当时科学节目审议委员会的一位成员写信给费曼，谈到节目审查的一些规定。除了一些法规上的要求之外，信里还提到“每个科学性的节目，都要有一个‘指定负责人’，代表华纳公司回答科学审议委员会正式提出的批评、建议和改善要求”。

亲爱的波恩先生：

感谢你那封令人望而生畏的来信，谈到科学节目的审查规定之类的事情。但是我不知道谁是那个所谓的“指定负责人”？你是说我吗？或者我只是节目的科学顾问？这到底是怎么回事？请你用简单的字，直截了当地说清楚而不要拐弯抹角的。

不管怎么样，华纳公司的这个节目是有个编剧，叫作马可斯。他到我办公室来过两次，每次大约花半天的时间（因此，你们欠我一天的工资）。他的目的，是请我对我所写的东西，例如相对论里的同时性，如何度量短时间，等等的事，做更详细、更完整的解释。他是个非常聪明的人。而且我也相当成功地把很多东西清楚解释给他听了。

虽然在我们的讨论过程里，并没有详谈拍摄的手法与技巧，但是他也对我大略地提了一下，并且留下相关的说明文件给我看。但我对这些表现手法没什么意见，告诉他这不是我的专长，也不是我的事。

老实说，当我仔细阅读他所写的东西，看到他想的表现手法时，头发都竖立起来了。但是我找了一顶帽子来戴上，免得人家注意到我的反常。如果我可以向谁倾吐一下，透透气，会觉得好一些。因此，别把下面这段话当作正式的意见，这只是我个人非正式的看法，但是我不吐不

快。因此我特别用括弧把它括起来，以免别人发生误会。

（有人认为电影专业人员才知道怎样把一个东西，好好地呈现在电影上。因为他们搞的是娱乐事业，知道如何吸引民众的注意。科学家就差多了。其实这个想法是错误的。看看所有的电影，就知道他们根本不晓得怎么去解释一个想法，他们完全没有这方面的经验。但是我晓得。我是个很成功的演讲者，常对一般民众讲解物理。真正能得到娱乐效果的秘诀是，刺激性、戏剧性和主题的神秘性。民众很喜欢学习新东西，如果能让他们了解一些以前从来不了解的东西，那才真是有“娱乐”的效果。这是寓教于乐的高级境界。讲的人对自己所讲的东西要有信心，而且这个主题也要能引起大家的兴趣，否则就像西部牛仔在卖电话！要真心诚意地认为自己介绍的东西是有价值的，而且清楚地说分明。表现手法反而是次要的，这些手法只是用来协助解释或描述主题，而不是以娱乐为目的。娱乐只是一项自动产生的副产品。）

不要担心，我会一直戴着帽子，而且会把自己的角色界定在科学顾问上，谨守分寸。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致咪咪·菲利普斯（**Mimi Phillips**）|**1958**年**6**月

费曼从1953年开始研究液态氦的特性，而且耗费了他和合作者柯汉（Mike　Cohen）整整5年的工夫。这封写给他表侄女的信，是他前往荷兰的莱登出席国际低温物理学研讨会的途中写的，后来刊登在菲利普斯家发行的当地新闻报纸上。

亲爱的咪咪：

我真是不应该，居然没有回你的两封信和卡片。你的信写得很好，而且说得很对。我是应该要常常写信给母亲的。等我写完这封信，就会写封信给我母亲。

我现在正在前往欧洲的途中，飞机刚刚飞越英格兰。我要到荷兰的阿姆斯特丹去参加一项国际研讨会，并发表一场演说，谈的是液态氦的特性。

液态氦是一种非常奇怪的液体，可以不需要任何压力，就轻易流过非常小的隙缝。你只要看看水是多么不容易渗过布料或沙尘，就明白我说的话了。你看，液态氦就能轻轻松松地流穿过去。

除了这些之外，液态氦还有许多古怪的性质。物理学家已经花了好长一段时间和力气，想了解它的全部性质，因此做了许多的实验和思考。其中在理论上最大的突破，是一位名叫朗道的苏联人在1941年提出来的。（第二个理论上的重大进展则是我提出的。现在我们对液态氦可以说已经相当了解了。）因此，朗道得到一份最大的荣耀，就是受邀在这场研讨会做开场演说。这个研讨会是要讨论在很低很低的温度之下，发生的一些稀奇古怪的现象。

但是朗道先生不能来参加研讨会。因此，大会改请我去做这件事。那是后天的事，但我到现在还没有整理好要讲的东西。他们只是告诉我，要我去演讲。

在这之后，我会到瑞士的日内瓦去参加另一场研讨会。这个会议要讨论的东西是，当我们很用力地把两个原子互相撞击时，会跑出一些很奇怪的新粒子来，我们就是讨论这些新粒子（这个研讨会叫作高能物理研讨会）。

原子是很复杂的东西，可能就像手表一样，但是它们实在太小了。

因此，我们只好用力让两个原子相撞，再看看飞出来的那些有趣的东西，就类似手表的齿轮、弹簧等。然后我们必须猜测，手表是怎么利用这些东西来组成的。在过去这几年，我们几乎没有办法分辨某个齿轮和另一个零件是不是一样，也很难去计算它们。但现在我们似乎已经知道所有的零件了，只是还没有人知道它们是如何拼凑起来的。

我们要花多少时间，才能拼凑出完整的图像呢？5年或10年？我对这件事有没有贡献呢？我会尽力的，我会很认真地思考，想象出所有的可能性。你觉得我们为什么要费这么多力气，去了解原子是怎么组成的，或是由哪些东西组成的呢？

当我从欧洲回美国的时候，我不会立刻飞回西部的加州去。我会留在纽约州绮色佳的康奈尔大学，直到圣诞节。或许我会去看你们。谢谢你的信。为什么我没有很快回信？因为我是个坏叔叔，真坏。你知道，大部分的人都不是十全十美的，都会有某个地方不那么好。但他们并不是永远不好，而且他们总有一些补偿性的优点。所以，如果你因为我没回信而觉得我很坏，你看，我不是永远坏的。今天，我就是好叔叔。而且我也有一些补偿性的优点，因为我记得我们在康涅狄格州时，有过一段非常美妙的时光。

祝你一切顺利，并替我问候你爸妈。

狄克·费曼

附笔：你的钢琴课上得怎么样啦？

费曼致好莱坞**KNXT**公共事务部惠特利（**Bill Whitley**）先生|**1959**年**5**月**14**日

亲爱的惠特利先生：

5月1日，你录了一卷史道特先生访问我的带子，说是要用在5月10日你的《观点》节目中。结果那卷带子没有在节目中出现。后来，你要求我重录一次访问。对于这项要求的原因，你并没有说得很清楚。你一会儿表示，我的看法可能会激怒民众，一会儿又说是史道特先生的不是，说他提出来的问题，暗示性太强了，不够客观。而他是暗示出支持我的看法。

昨天，我特别拿出访问的录音带来听。我发现在访问过程中，我有充分的机会表达自己的观点。而这些观点的表达方式既真实又诚恳，在逻辑上很正确而且不武断。从我的表达方式和语言来看，我完全不觉得有激怒民众的顾虑。唯一会稍微引起反感的，可能是我介绍自己的方式。但这清楚说明了，这些观点只是我个人的意见，并不是所有的科学家都持相同的看法。这些观点，或其他很接近的看法，是这个国家许多非常聪明的人都同意的，虽然这群人在数目上可能是少数。他们的意见没有什么理由不能出现在公共的沟通渠道上，如电视。

史道特先生以非常专业的手法，制作这段访问节目。他提的问题很清楚、很明确，一点都不含糊。而且问题的设计，让我能充分完整地表达出我的想法。他的陈述只有问题本身，并没有任何同意或反对我的观点的暗示性语句。

电视频道是我们国家言论自由的传统里，很值得骄傲的一环。而你这个拥有同样值得骄傲的名字——《观点》的节目，在讨论当代重大议题上，一向卓有贡献。然而，我认为你拒绝播出我的访谈影带，却是戕害我的表达权利的一种审查。

我看不出有任何重新录制访谈的理由。我并不会改变我的观点，也不会改变表达这些观点的方式和态度。

如果你还是觉得史道特先生在节目中的立场有问题，请不要客气，

在播出的时候可以声明：这并不代表他或贵台的立场与看法，你们其实不同意我的看法。这我不会有意见的。

看了这些陈述之后，我能不能请你重新考虑一下你的决定？

我期待你的尽早答复。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：费曼未再接受访问，电视台也播出了原来录制的访问节目，访谈内容请参阅“附录一”。但电视台在宣告的时段之前，提早播出这段访问。

费曼致温妮丝|**1959**年**5**月**29**日

亲爱的温妮丝：

终于一切搞定了！

听说你终于能来，我欣喜万分。我们等待这一天已经有好久了。你对大使馆的人说了什么，终于使他们清醒过来？我对自己煮的食物已经厌烦死了，因此比以前更需要你。我只会煮牛排、羊肉丝和猪肉丝，而且只会配豌豆、青豆和玉米。老实说，这些东西其实没有什么变化。我在期待快乐的日子到来，再过3星期，我就要在机场迎接你！

但是请你把飞机航班的资料写信告诉我，而且要尽量写清楚。比方说，TWA的哪个班次，班次是几号，到达洛杉矶的准确时间是什么时候，或何时离开纽约的？（你之前说，在早上11点抵达洛杉矶，但TWA说，他们没有这个时候到达的班机，只有班次5号的飞机，早上9点30分离开纽约，大约11点30分才会抵达洛杉矶。你指的就是这班飞机

吗？）一切事情似乎都混在一起了。你给的资料愈详细，我就愈能弄清楚到底是怎么回事。

另外，也把你抵达纽约的时间告诉我，以及你在纽约什么地方过夜，或者打算怎么办。你知道，你既然答应来美国，我就有照顾你的责任。一旦你抵达美国，让你开心不受惊吓，就是我的事了。因此，我想知道你打算住在哪里，我可以打电话过去，看看是否一切妥当或顺利。不管在什么地方，假若你有任何麻烦，就打电话给我。先投10分钱，然后告诉接线生，你要打一通对方付费的电话到洛杉矶的夕卡摩，号码是7—××××。如果我不在家，就拨到我教书的学校去。这次告诉接线生，对方是理查德·费曼，号码是夕卡摩5—××××。如果你还是找不到我，而情况相当棘手，就打电话给山德士先生，一样是对方付费，号码是夕卡摩5—××××。我会告诉山德士，你可能打电话给他。你可以把困难告诉他，他会解决的。此外，他也很高兴你终于能来。因为我答应他们夫妇，如果你真的来了，他们会是我们第一对晚宴宾客。他说他想吃野鸡大餐。你看我们该用什么招待他？

不论如何，不必太害怕，美国是个很好的地方，而且是使用英语的国家，只是习惯和用法稍微不同而已。不论你想知道什么，只要开口问人就行了。

如果你早两个星期来，我就会有很多事给你做了。我马上要上电视了，在6月7日，是个新闻评论节目，我有一段专访。之后可能会有很多信件需要处理。

把你的滑雪装备留在瑞士，不用带来。离我们这里60分钟车程的山区是可以滑雪的地方，只是我从来没有滑过雪。如果你愿意教我滑雪，我们也可以偶尔去滑滑雪。如果我们真的有机会去玩那么少数几次，可以向朋友借装备，或去租。犯不着为此而购置装备，这些东西携带起来太重了。

这里夏天很热，冬天温暖，我没有碰过下雪。气温通常是60～65。日夜温差很大，晚上很冷。但是不需要厚大衣，薄夹克倒是非常好用，除非刮风下雨的寒冷天气，这时候我往往穿雨衣。

我想替你的车子换轮胎，但是轮胎很贵，而且厂牌很多，必须一家一家地去比价。所以我决定等你来了之后，请你自己去换。你可以货比三家，以合理的价位买到适用的轮胎。没有必要为一辆旧车换上很昂贵的新轮胎。你不必担心驾驶执照的问题，我们可以在这儿考驾照。不管怎样，你必须先上一段课，习惯靠右驾驶，而且要熟悉我们这里的街道情况。

现在正是去海边玩水的季节，但是我还没有去过。上个星期，我和几个朋友到树林里露营，待了两夜，蛮好玩的。



费曼与温妮丝，合影于1959年

好了！没有你，我一切都乱糟糟的。赶快来吧！

祝福你

理查德

第4部　美国国家科学院|1960～1970年

我们怎么能大声地说，只有最好的人才可以加入我们之中？

参加这个自我标榜的团体，让我很不开心。

1959年11月，费曼接到一封信，里面有张小纸条："根据行政室的记录，上两个会计年度你都没有缴会费。"之后，就引起一连串荣誉何价的讨论。在费曼的一生中，得到许多这种至高无上的荣誉。虽然在几年前，国家科学院曾为了费曼想去苏联出席研讨会的事出过力，但国家科学院的院士荣誉对费曼似乎没有什么吸引力。

10余年下来，和国家科学院某些相关人士的来往信件，提供了令人笑嚎的证明，透露出费曼对于以"排除异己"为存在价值的团体，有一种根深蒂固的厌恶，也显露出他极其固执的一面。

国家科学院克鲁帕（**B.L.Kropp**）致费曼|**1959**年**11**月

亲爱的费曼博士：

随函附上您的"国家科学院院士"会费缴款通知，自1959年7月1日开始。

根据行政室的纪录，您已有两个会计年度没缴交会费了。或许是我们的资料有误，如果您已经缴费了，请通知我们更正，我们将非常感谢。如果我们的记录正确无误，烦请寄上30美元的支票。这样，您的会费就等于缴到1960年6月30日止。

敬祝时祺

克鲁帕，行政副主任

费曼致国家科学院行政副主任克鲁帕|**1960**年**11**月**9**日

亲爱的克鲁帕先生：

随信附上40元的支票，缴交我参加国家科学院的会费。

我发现自己对国家科学院所举办的各项活动，没有什么兴趣。请允许我放弃院士身份，离开这个组织。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致国家科学院|**1961**年**2**月**20**日

敬启者：

我想放弃国家科学院院士的身份。

我没有时间，也没有兴趣参加贵院的活动。

诚挚的祝福

理查德·费曼

国家科学院院长布朗克（**Detlev W.Bronk**，**1897**～**1975**）致费曼|**1961**年**6**月**15**日

亲爱的费曼教授：

国家科学院的秘书告诉我，你想辞去院士的事。我希望能有机会和你见个面，谈一谈。你是我非常尊敬且钦佩的人，希望你能重新考虑一下这项决定。

我特别为行政室写信给你，催讨会费这件事感到抱歉。我对这个举动也深深不以为然，这对院士实在相当不敬。记得几年前的某次会议上，我也曾建议废除会费。当时有一些不同的意见。有人的看法和我一样，也有人觉得应该增加会费，但是绝大部分的人都主张维持现状。我

不知道为什么要收会费，也不知道这个金额是怎么决定的。其实，和每年超过1500万元的预算相比，会费收入只有几千块钱，根本是微不足道的。我并不赞成向院士收费，院士都是这么杰出的科学家，在很多方面都已经对科学界做了这么大的贡献；尤其在很多行政议题上，他们并没有机会直接表达意见。我知道这绝不是你退出的本意。但我还是要对你收到一封这样的信而致歉。

由于你的院士身份对我们有更重要的意义，我希望你同意继续留在国家科学院里。大家选你当院士，是代表大家对你的成就表达的敬意。你成为科学院院士，也为科学院增光，更让我们促进科学发展的工作有成效。我知道很多院士对科学院的活动，有时候会觉得没什么兴趣。但是我希望科学院的活动范围会逐渐扩充，慢慢地，某些活动也能吸引你们，使你们了解这个组织的重要性。

致上我个人对你的敬意。

诚挚的祝福

布朗克院长

费曼致布朗克院长|**1961**年**8**月**10**日

亲爱的布朗克博士：

很抱歉我想退出科学院这种小事会打扰到你。你要照应国家科学院这一大家子，应付不少家伙不时抛出来的古怪念头，一定相当困扰吧。

我在缴费单据上，随随便便附上一张想要退出科学院的便条，实在很不礼貌。其实我应该写一封正式的辞职信才对。正如你所想的，我的退出和会费这件事并没有什么关系。

我决定辞去院士，完全是个人因素，绝对不是任何形式的抗议，或者是针对科学院或它所办活动的某种批评。也许我就是喜欢与众不同的行径。我这个怪异举动的主要原因是，我发现自己在心理上，非常排斥为别人“打分数”。因此，我很不愿意参加那些以遴选院士为目的的活动。

这个团体最重要的工作是决定谁有资格获选为成员，这件事令我很不安。每次想到要挑选出“谁有资格成为科学院院士”，就让我觉得有一种自吹自擂的感觉。我们怎么能大声地说，只有最好的人才可以加入我们？那么在我们内心深处，岂不是自认为我们是最好、最棒的人？当然，我知道自己确实很不赖，但这是一种私密的感觉，我无法在大庭广众下这么公开地表示。尤其是要我决定，谁才够格加入我们这个精英俱乐部，成为院士时，我更是精神紧张。

或许我没有办法说得很清楚。但我应该已经充分表达出，参加这个自我标榜的团体，让我很不开心。因此，除了我在第一年获选为院士之外，过去我从来没有推荐哪个人，说他可以加入国家科学院。而且我一直想找个机会，辞去院士这个头衔，但是找不到适当的机会，直到我寄出会费才提出来。

所以，这件事应该没有什么严重性，也不会引起尴尬的情况。如果你能安安静静地处理掉，不大肆张扬，也不必到院士会议上讨论或宣布，我将非常感激。希望你能接受我的退出，把我的名字悄悄从院士名册上删除。

这事对我而言，并不是什么重大的原则问题。这一点也请你了解。因此，如果我的退出会对你造成重大的困扰，那么请你不要客气，就把我的要求搁在一旁好了。只是这样一来，在国家科学院里，就有了一只怪异、忧伤、别扭的孤鸟。

不过，我想要趁这次写信给你的机会，谈一件我个人的私事。你一定不知道，20多年前我当学生的时候，你就是我非常崇敬的人。当时我是普林斯顿大学的研究生，有些念生物的朋友建议我应该去听哈维（E.Newton Harvey）上的细胞生理学。除非我亲自去听，才知道有多棒。在课堂上，主要方式是大家去读原始的论文，然后在教室报告读书心得。当时，指定我看的是阿德里安（Edgar D.Adrian，1889～1977）与布朗克关于神经冲动的论文。多么重大的基础发现，能读到原创的论文真是我美好的经验！（我还闹了一个笑话，在普林斯顿流传至今。有一天，有个研究生到生物系的图书馆，要求馆员为他找一幅“猫体构造图”。馆员大吃一惊，大声问：“你要的是动物分类图吧！”不过后来还是让我给找到了，里面画了各种的屈肌和伸肌，让我能了解你的论文。）不久之后，哈维带我们去旁听一场研讨会，我居然亲眼见到伟大的布朗克本人。

由于我很清楚你的研究工作和贡献，见到你令我非常兴奋。在物理学界，我们教学的方式并不是这样。我们很少有机会，直接接触到伟大科学家的原始论文。很多年以后，我才拜读过我这个领域的伟大科学家的原始论文，完全明白他们何以伟大，因此再有机会与这些大师见面时，心中也才真正感动。

因此，我个人对你深致敬意。

诚挚的祝福

理查德·费曼

布朗克院长致费曼|**1961**年**10**月**26**日

亲爱的费曼博士：

每当我接到一封读起来很愉快的信，总是把它放在一旁，一再地展

读。由于我非常珍视它，因此再三告诉自己，这封信一定要好好地回，绝不能匆匆忙忙处理。一定要有空，有精神，可以非常慎重地处理一件自己觉得有意义的事情时，才是回答这么一封信的正确时机。结果是，我最重视的信件，往往耽搁很久，最晚回信。你夏末给我的信，就是这一类。

昨晚，我和柏霖、哈特兰聊到很晚。不知怎么，话锋就转到一位狄克·费曼身上。他在广义相对论、量子电动力学以及无质量粒子的研究，无论是哪个主题，成果总是那么美妙，那么令人感兴趣，真是一位罕有的天才。但是我想到还没回你一封信，不禁有点汗颜。不过我还是感谢你的信。

我也要感谢你还愿意勉强留在科学院，没有坚持退出。我像你一样，觉得挑选院士这件事有些伤感情。因此，近年来我已尽力把挑选院士这件事，尽量与促进科学发展画上等号，而淡化它的尊贵与荣耀。我要向你表达我的敬意和谢忱，很高兴你在我当院长的最后这一年还是国家科学院的院士。

如果你有机会回到东部的老家附近走走，若能抽空到洛克菲勒研究院（中文版注：这是洛克菲勒大学的前身，布朗克曾任该院的校长）来看我们，将是再好不过的事。有很多老朋友期待与你碰面，给你温暖的招待。

再次致上我个人对你的谢意和敬意。

诚挚的好友

布朗克

费曼致国家科学院|**1968**年**7**月**1**日

敬启者：

请接受我辞去国家科学院的院士。我的退出纯粹是个人因素，完全和我对国家科学院的见解无关。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致国家科学院院长赛驰（**Frederick Seitz，1911～2008**）**|1969**年**6**月**12**日

亲爱的赛驰院长：

当你的信和电报寄来的时候，我正好外出，所以没有回复你。后来布罗姆利打电话来给我，我回答不行，因为这不是我喜欢做的事情。

你说的是一件完全不相干的事。这和我提出的辞去国家科学院院士的要求，完全无关。我想离开国家科学院这个团体，完全是私人原因，与国家科学院或政府的作为无关，也不是你个人行政风格的问题。多年以来，我就一直很想安安静静的、不惊动任何人，而退出这个团体，也不要引发任何的政治联想。这纯粹是我个人的因素，有点孩子气，就是喜欢什么、不喜欢什么而已。请接受我的辞职。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致杜克大学医学院生物化学系韩德勒教授**|1969**年**7**月**15**日

亲爱的韩德勒教授：

我要求辞去国家科学院的院士之衔，完全是个人的心理因素。不代表或视为任何对国家科学院的不满或批评。也不影响“大多数院士视国家科学院的荣衔为至高无上的荣耀”此一事实。

诚挚的祝福

理查德·费曼

●中文版注：

韩德勒（Philip Handle，1932～1982）教授继赛驰博士之后，即将出任美国国家科学院院长（任期从1969～1981年）。

国家科学院院长韩德勒致费曼|**1969**年**7**月**31**日

亲爱的费曼博士：

我接到你7月15日所写的语焉不详的信。老实说，我怎么想都想不出做这种决定的原因。尤其是我和委员会正努力改造国家科学院，至少希望它成为一个有活力的团体，能符合我们的院士所享有的荣耀与权责。我们想重塑机制，让院士积极参与、贡献所长，使科学院扮演更有意义的角色。你何不和我们一起努力，让这个组织能够改头换面？

诚挚的祝福

韩德勒院长

费曼致韩德勒院长|**1969**年**8**月**14**日

亲爱的韩德勒博士：

谢谢你7月31日的来信。

我7月15日的短信仍然有效。请接受我辞去国家科学院的院士。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致穆纳汉（**Francis D.Murnaghan**，**1893～1976**）**|1970**年**1**月**22**日

1969年12月21日，德高望重的数学家穆纳汉博士写了一封信给费曼，问他为什么退出国家科学院。他写道：“几天前，我从国家科学院听说你要辞去院士，从那时起我就很担心。”他接着表示，费曼的辞去，将是国家科学院的损失，而且一定会造成某种程度的伤害。他想知道，有什么办法是他或任何人能做的，可改善国家科学院的作为。

亲爱的穆纳汉博士：

我辞去国家科学院院士，完全是个人因素。绝不是对国家科学院有任何不满或批评。我也不想伤害国家科学院。只是我人格上的某种特质，让我对世俗所谓的荣耀不愿意沾染。

对这样一件小事，害你担心，实在很抱歉。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致尼曼（**J.Neyman**，**1894～1981**）**|1970**年**4**月**28**日

1970年4月21日，加州大学伯克莱分校的著名统计学家尼曼，写了一封信来，问费曼关于辞去国家科学院院士的传闻，是不是真的？有何理由？

亲爱的尼曼博士：

我真的要辞去国家科学院的院士。理由是纯个人因素，和科学院本身没有任何瓜葛。

诚挚的祝福

理查德·费曼

第5部　费曼物理讲座|1960～1965年

如果你有任何才干，或任何工作吸引你，就全力去做吧。

把整个人投进去，像一把刀直刺入刀柄。

费曼涉入分子生物学的想法酝酿了很久，他终于花了一整个夏天和一个休假年，在加州理工学院做相关的实验。当时他是和生物实验室主管艾德加（Robert Edgar）等人合作，研究病毒攻击细菌的机制。他发现一些所谓“回复突变”（back mutation）的例子，它们都发生在很靠近的地方，可能是某DNA序列的线索。艾德加一直催促费曼发表自己的发现。在沃森（James Watson，1928～，1953年DNA双螺旋结构的发现者之一）的邀请下，费曼还到哈佛大学生物系去演讲。接着，他就放弃生物学研究，又回到他的最爱——物理学。

温妮丝在1960年9月24日和费曼结婚。不久之后，费曼就自豪于自己多么顾家、恋家。费曼在外头的名声逐渐响亮，家庭或许成为他树大渐渐招风的一个避风港。

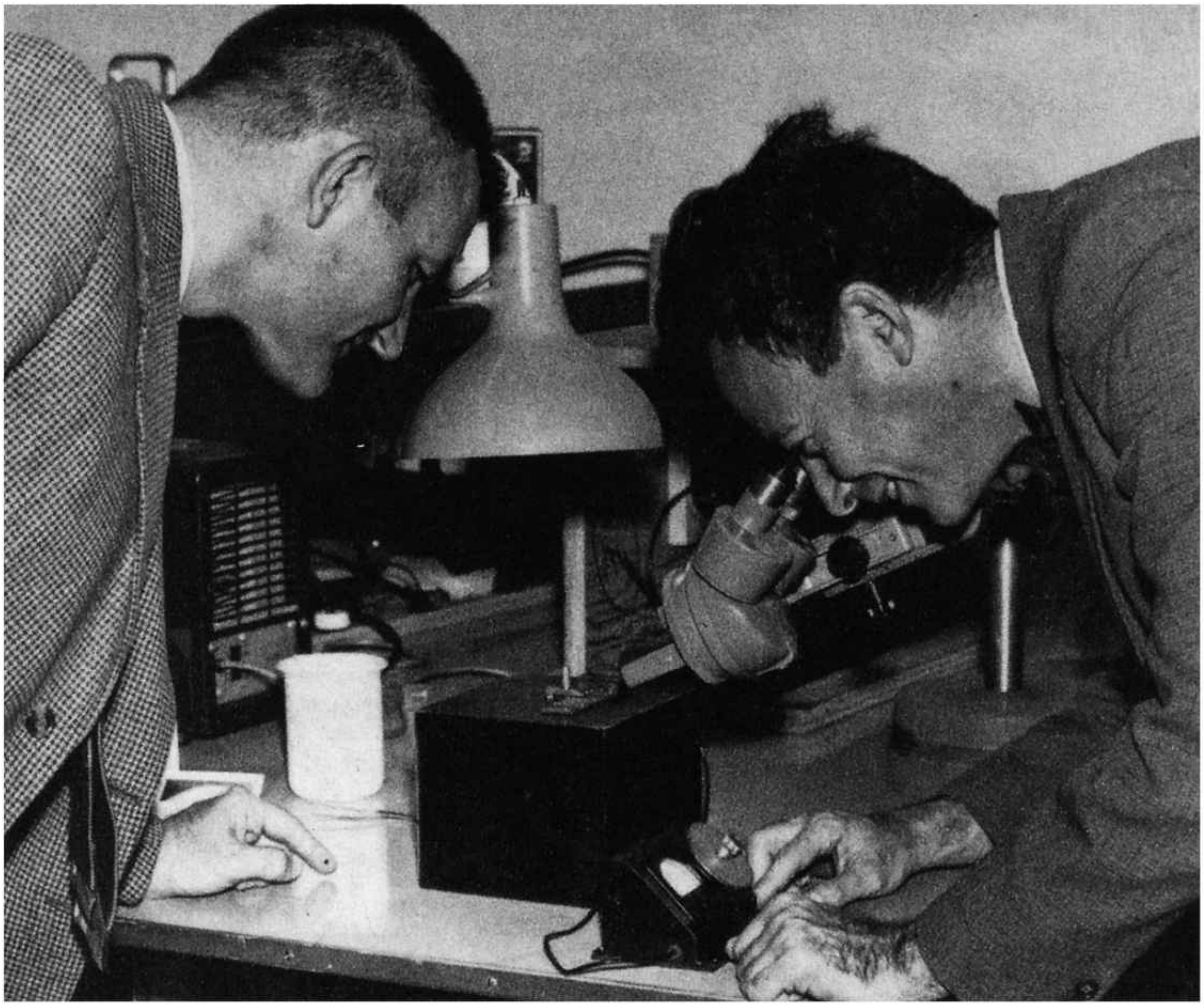
这时候，他把自己的部分注意力转到普及物理上。1961年，他担任影片《关于时间》（About Time）的科学顾问，后来在NBC的黄金时段播出。另外他也参与贝尔集团的科学电视影集制作，每集约1小时。这些工作让他的名声和人格特质，穿透出大学同事和科学家，接触到一般观众。不久之后，他就收到很多陌生人的来信，其中有学生、科学门外汉，偶尔也有仰慕者。

1962年，费曼得到劳伦斯奖（E.O.Lawrence Award）。我哥哥卡尔（Carl）正好在颁奖典礼的前一天出生。这个奖是能源部颁给对原子能有杰出贡献的人。地方版的报纸登了一张费曼和温妮丝在医院的照片——费曼拿着奖杯，而温妮丝抱着刚出生的婴儿。

这时期更重要的是，费曼的最佳物理教师声誉，不胫而走。著名的《费曼物理学讲义》（Feynman Lectures on Physics）就是在这个时期诞生的。那是他为加州理工学院大学部一二年级的学生上普通物理的内容，由雷顿（Robert B.Leighton）和山德士（Matthew Sands）编辑

成三巨册出版，成为物理教科书的里程碑。很多人都认为这是一件艺术作品。

在1962～1963年这个学年度里，费曼还做了很有名的“万有引力讲座”系列。之后，费曼为很多高级课程开的讲座、讲义也陆续出版。1963年，一位康奈尔大学的同事写信来，讨论另外一桩事业，就是发行费曼的教学录音带。



费曼用显微镜观看麦克莱伦先生的微型马达，摄于1960年

费曼致电光系统公司麦克莱伦（**William H.McLellan**）先生|**1960**年**11**月**15**日

1959年，费曼察觉到，将来资料储存所需要的实际空间，一定非常小，就连机械设备也一样，可能会小到几十个或数百个原子的尺度。他预先想到一个全新的科学领域，也就是今日的纳米科技（nanotechnology）。

在一场以“这下面空间还大得很呢！”为标题的演讲中，费曼陈述了自己的看法，并且对科学家和工程师提出挑战：如果能够完成以下两

件工作之一，他个人愿意各提供1000美元的奖金。①把一页书上的1资料，缩小到长宽各只有该书页1/25000的面积上，仍然可以用电子显微镜来读取。②做出一台可以控制的电动机，不算外接电线，边长只有1/64英寸。这两项挑战几乎立刻就给克服了，但用的并不是费曼想的新技术，而是靠精巧的手艺。有点不符合他原先的期望。

（注：那是在1959年12月29日，费曼于加州理工学院对美国物理学会发表的著名演讲。演讲记录后来刊登在加州理工学院发行的《工程与科学》期刊1960年2月号。全文可参阅《费曼的主张》一书的第五章。）

亲爱的麦克莱伦先生：

你上星期六给我看的电动机，令我印象深刻，你怎么能把它做得这么小？

在你给我看电动机之前，我会告诉你，虽然我在《工程与科学》的文章上提过这件事，但我还没有很正式地设立这个奖金。原因是我想让这个奖赏的条件更加严密，避免以后有法律上的争议，譬如说，我需要把微型电动机定义清楚，免得有人利用磁场把汞驱向某个方向，也声称这是电动机，等等。我本来想找个团体来为我评断，另外解决相关的税务问题。但是我一直忙着其他的事，并没有真的好好做这件事。

但是你给我看的东西，确实是我脑子里想到的东西，尤其在我写演讲稿的时候。而且，你也是第一个把这种东西拿给我看的人。因此，我很高兴地把奖金随信附寄给你。你实在当之无愧。我只是有点失望，做出这么小的电动机居然不需要全新的突破性技术。我本来觉得自己给的尺寸这么小，用传统的方法应该是无法成功的。但你居然能办到，真是可喜可贺！

继续朝更微型化迈进吧！

自从上次演讲之后，我结了婚，又买了房子。我就不再为更微型化的机械提供奖赏了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致加州克纳根（**Ronnie Kernaghan**）同学|**1961**年**2**月**20**日

一位初二的学生在做“就业调查”的功课，写信问费曼：要修什么课程才能成为理论物理学家，有什么工作机会，工作环境如何，以及薪水多高，等等。

亲爱的克纳根先生：

很抱歉，对于你来信所问的问题，我没有什么资料可以奉告。

如果你问的是，设法找出大自然的工作奥秘，是不是一种有挑战性又刺激的生涯规划，我就可以回答了。不错，是这样的，而且还很好玩。只不过你要有相当的才华。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致《纽约先驱论坛报》乌贝尔（**Earl Ubell**）|**1961**年**2**月**21**日

亲爱的乌贝尔先生：

有位崔波小姐好心地印了一篇你的文章《失礼的引力》（请参阅“附录二”）给我。我读了之后，觉得真是好极了。一般的科学报道很

少有写得这么好的，尤其是最后一行。我是懂科学的人，你甚至写得比我还好，我甘拜下风。

我依稀记得我们曾经短暂碰过面，或许我还表现出一副很不耐烦之类的态度。通常，这是我应付媒体记者的方式。若如此，我对你道歉。不过我只是对你道歉，而不是对其他媒体记者。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致戈德（**Floyd Gold**）**|1961**年**4**月**5**日

1961年3月25日，费曼接到一封来自故乡的老友戈德的信，询问儿子未来教育的问题：“他15岁，自己做了一台数字计算机去参加西屋公司的科学才能竞赛。”戈德接着表示，儿子这方面的知识都是自学而成的，只上过7周计算机逻辑的课程。法罗克维高中（费曼的母校）的副校长建议他写信请教费曼，询问相关的课程和大学里的情况，以免埋没儿子的天才。戈德也不知道该让儿子走工程还是纯科学的路。

亲爱的戈德：

听到某些个我记得名字的昔日老友的消息，让我非常兴奋。我和阿琳结了婚，她在1945年去世。现在是我第三度的婚姻刚刚开始，太太来自英格兰。我目前还没有小孩，希望很快会有。

我给你儿子的建议如下。幸好他喜欢某件事，而且在做某些事的时候非常开心。你应该尽量鼓励他去做他喜欢的事。我不是指将来，而是指现在、每一天。不要预设什么远大的计划。在他现在这个阶段，工程与科学的教育内容是大同小异的，而且有好几年都是这种情况。大学里多的是毕业之后才改念其他科系的人，这并不太困难。但是不要等到研

究生毕业之后，那就嫌太晚了。

因此，让他很认真地去玩他的计算机。当他需要了解计算机的电路时，他的数学能力也会慢慢发展起来。现在，他应该可以自由自在去追求自己喜欢的事。当他成为某件事情的专家时，他会发现了解相关的主题很简单。

另外，和你信里所描述的情形相反，如果他什么功课都是中上，并没有特别喜欢什么事，或者什么事都喜欢，经常这事做做、那事搞搞的，那我反而不知道该怎么建议了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致康涅狄格州奚帕（**Frederich Hipp**）**|1961**年**4**月**5**日

奚帕是个高中生，非常喜欢物理（尤其是原子理论和量子力学），自己还做了一个云室，当成科学作业。但是他很担心自己对数学没什么兴趣。他问费曼，一个数学能力平常的人，能不能掌握高深物理，成为这一行的专家。

亲爱的奚帕先生：

在物理学上想做些什么重要的工作，都要有非常好的数学能力与兴趣。有些应用上的工作对数学可能没有这么高的要求，不过那些工作并不是非常吸引人。

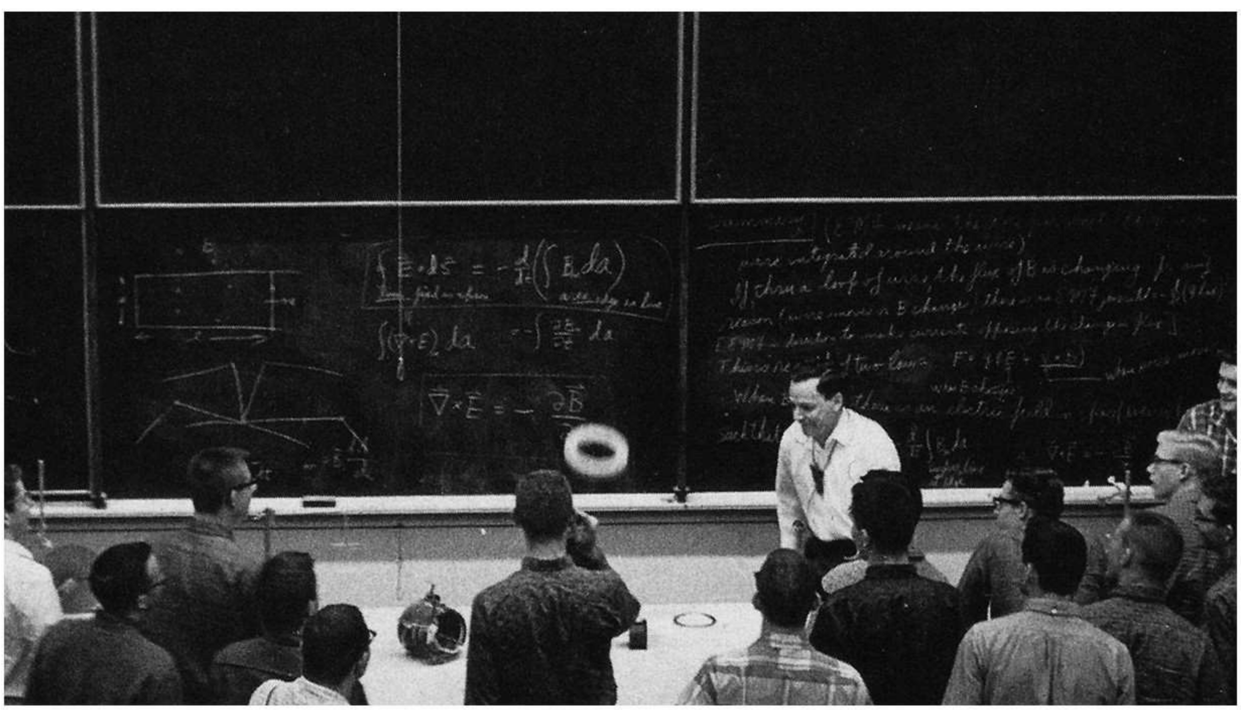
如果你想满足“个人对大自然奥妙无上境的好奇心”，而这些奥妙必须以数学形式的定律表现出来，那你该怎么办呢？如果不用数学来运算和推理，你就无法深入了解物理世界，也不能满足自己的需求。

你怎么知道自己对数学没兴趣？或许你只是不喜欢教数学的老师？或许他的教学方法有问题，不符合你心智的推理形式。

我有什么建议呢？暂时把对数学没兴趣这事搁在一旁，不要理它，也不必害怕。先做那些你最喜欢的事。你不是做了一个云室吗？再做一些类似的事情。顺应你的才能去发展，不管它们会朝哪个走向走。不必管路上的水雷，全速前进。

那么，对数学该怎么办？①或许当你以后在设计某种装置而需要用到数学时，才发现它很有趣。②你没有继续发展现在的兴趣，设法了解所有的事情，却发现自己有其他才干，可以崭露头角，例如设计先进太空船的控制系统等。或者③生物学上的问题最后吸引了你的注意和才能，而你决定往实验生物学发展，利用它来了解大自然，等等。

如果你有任何才干，或任何工作吸引你，就全力去做吧。把整个人投进去，像一把刀直刺入刀柄。不要问为什么，也不要管可能碰到什么困难。



费曼充满魅力的物理学讲堂，总能吸引许多学生。摄于1962年

如果你什么功课都中上，也没有什么特别的事令你感兴趣，那我反而不知道该给你什么建议。那你应该去找别的人讨论。这个问题我还没有很认真想过。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致乔特（**Helen Choat**）小姐|**1961**年**7**月**26**日

到这个时候，“关于时间”的影片已制作了两年多。华纳兄弟公司发行了影片。而纽约的艾尔（N.W.Ayer）父子公司想出版相关的补充资料和工作记事簿，乔特小姐是联络人。

亲爱的乔特小姐：

你要求我改写自己的简历。第一段的第二句是错的，应该像这个样子才对：“1941年，他在普林斯顿参加了和原子弹有关的工作，后来一直继续下去，直到1945年在洛斯阿拉莫斯成功做出原子弹为止。”我并没有和爱因斯坦一起工作过，爱因斯坦也和原子弹的研制工程无关。爱因斯坦并不是原子弹之父。

最后，请删除有关国家科学院的部分。另外，我也不能肯定自己是不是美国科学促进会的成员。我记不得了。

你还要我叙述一下，自己是怎么让科学给吸引的。“我父亲是个生意人，却对科学非常感兴趣。他常告诉我一些很美妙的事，例如星星、数字、电流等。不管我们到哪里去，总会听到一些新鲜有趣的事，好比山脉、森林、海洋。在我学会说话之前，他已经用方块设计出很多吸引

我的数学游戏了。因此，我自己自始至终就是个科学家，我永远热爱科学。感谢父亲给了我一份这么珍贵的礼物。”

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼写给温妮丝|**1961**年**10**月**11**日，寄自比利时布鲁塞尔的阿米哥（**Amigo**）旅馆

这封信曾选入《你干吗在乎别人怎么想》一书，是费曼赴布鲁塞尔参加索尔维会议（Solvay Conference）研讨会途中，写给太太温妮丝的。当时温妮丝怀着我哥哥卡尔，不便一起去。

哈罗，甜心：

盖尔曼和我竟夜争辩，直到两人都支持不住，醒来时正好在格陵兰的上空。这次感觉比上次飞越时还棒，因为这次我们直接穿过去。在伦敦，我们和几位物理学家会合，一起过来。他们之中有个人很忧心，因为他的旅游书里，找不到阿米哥旅馆的介绍。但另外一个人的新版旅游书里，却说它是个五星级的旅馆，据说还是欧洲最好的旅馆呢！

旅馆真的很棒。家具非常精美，都是深色的红木制品；浴室好大。你这次不能和我一起来，真是可惜。

会议在第二天开始，进行得很缓慢。我的报告排在下午，我也如期上台发表，只可惜时间不够。由于晚上有一场盛大的接待晚宴，会议要求提前在4点结束。我讲得还可以啦，反正没有讲到的东西，在书面资料里都有。

Oct 11, 1961 (1)

Hôtel Amigo

Hello, my sweetheart;

Murray & I kept each other awake arguing until we could stand it no longer. We woke up over Greenland which was even better than last time because we went right over part of it. In London we met other physicists and came to Brussels together. One was worried - in his guide the hotel Amigo was not even mentioned. another had a newer guide - five stars! and rumored to be the best hotel in Europe!

It is very nice indeed. All the furniture is dark red polished wood in perfect condition the bathroom is grand, etc. It is really too bad you didn't come to this conference instead of the other one.

At the meeting next day things started slowly. I was to talk in the afternoon. That is what I did but I didn't really have enough time for we had to stop at 4 PM because of a reception scheduled for that night. I think



费曼与温妮丝婚后一年的合影，摄于1961年

傍晚，我们进皇宫去见国王与王后。计程车在旅馆门口排成长龙接我们，是那种长形的黑色礼车。我们在下午5点抵达。车子开进皇宫大门时，两旁都是卫兵。接着我们穿过一道拱门，到了皇宫门口。穿着红外套、白长袄的卫兵替我们开门。他们的白长袜在膝盖下方，还用黑带子绑着金色的穗子呢。

后来经过入口、门廊、楼梯到大厅，一路上都是这种装扮的卫士，站得直挺挺的。他们戴一种暗灰色的俄式帽子，上面有金色的系带。室内卫士穿着深色外套、白色长裤，每人还持一把向上竖起的剑。

我们在大厅等了大约20分钟。地板是精美的花纹拼木，每个方块里都有个L字——应该是皇族的姓，李奥波德（Leopold）什么的。墙上漆

得金碧辉煌，听说是18世纪完工的。天花板上画了很多驾着马、拉战车的裸女之类的作品。房里有很多镜子，和很多摆着鲜红色坐垫的金色椅子，就像我们以前参观过的皇宫一样。但这次是真的，活生生的。不是在博物馆。每件东西都光鲜亮丽，保养得非常好。有几位宫廷官员陪伴我们，其中一位手里拿着一张单子，告诉我们要站在哪里。但我老是站错地方。

大厅一端的门打开了，卫士簇拥着国王和王后站在里面。我们慢慢走进来，一个一个地被介绍给国王和王后。国王的脸很年轻，表情似乎有点僵硬，不过握手却很有力。王后很漂亮。（她的名字好像叫法布里欧拉，以前是个西班牙女伯爵。）接着我们进入左边的另一个房间，里面像戏院一样，摆着很多椅子。最前面的两张是国王和王后的座位，也向着同一个方向。在我们前面有张桌子，桌子的另一边有6张椅子向着我们，是给大师坐的，像玻尔（Niels Bohr，1885～1962，1922年诺贝尔物理学奖得主）、皮兰（Jean B.Perrin，1870～1942，1926年诺贝尔物理学奖得主）、奥本海默等人。

原来是国王想知道我们在干什么，于是6位老前辈就分别发表了一段很沉闷的演讲。正经八百的，连个笑话也没有。我很不舒服地坐在椅子上，因为搭了一夜的飞机，背脊酸痛。

讲完之后，国王和王后穿过原先接见我们的房间，到右边的房间去。这些房间都是维多利亚式的，金碧耀眼，宽敞华丽。房间里有穿着各种不同制服的人，有穿红外套的禁卫、穿白外套的内侍、卡其色配勋章的军人和黑外套的宫廷官员。这时，内侍端上饮料和开胃菜。

我从左边房间穿到右边房间时，因为背痛走得慢，落在最后面，不知不觉和一位宫廷官员攀谈起来。他是王后的秘书，偶尔还在鲁汶大学兼课，教数学，是个很棒的人。国王年轻的时候，他还曾当过国王的家庭教师，已经在皇宫里服务了23年。终于我也有个聊天的对象了。别人

则是与国王和王后聊天，所有的人都站着。过了一会儿，这次研讨会的主席布拉格（W.Lawrence Bragg，1890～1971，1915年诺贝尔物理学奖得主）跑过来，说国王想见我。当他对国王说“陛下，这是费曼”时，我犯了一个大错，我以为国王会和我握手，立刻伸出手来。一阵尴尬之后，国王还是伸出手来，解了我的困窘。国王很礼貌地夸我们这批人，一定是聪明绝顶，想这些东西一定非常辛苦。我以玩笑的态度回答，显然又犯了第二个错。（布拉格教授已经告诉我该怎么应对，但我怀疑他知道什么。）幸好这时候布拉格又带了另外一位教授来介绍，我想是海森伯（Werner Heisenberg，1901～1976，1932年诺贝尔物理学奖得主），总算解了我的围。国王忙着和新朋友说话，忘了费某人。费某人也溜去和王后的秘书闲扯。

又过了好一阵子，我喝了好几杯柳橙汁，吃了很多非常精致可口的小菜后，一位穿军服配勋章的家伙跑来对我说：“去和王后说话。”我再乐意不过了（她可是位大美人呢。不过你别担心，她已经结婚了）。我到达的时候，发现王后坐在一张桌子边，旁边还有3张椅子，可是都有人坐，并没有费某人的位子。有一阵轻声的交谈和咳嗽之类的，等等。

不久就有人很不情愿地让出一个位子来。另两把椅子坐着一位女士和一位神父（穿着全套的宗教礼服，也是物理学家），名叫勒梅特（Georges LeMa tre，1894～1966）。

我们聊了大概有15分钟（我很仔细地听，并没有人轻声咳嗽，暗示我起身让位），例如：

后：“思索这些困难的问题，一定很辛苦吧？”

费：“还好啦！我们大都是为了兴趣才去做的。”

后：“要改变原先的想法，应该很不容易吧？（这是她从那位老前

辈得来的印象。）

费：“也不会。刚才演讲的那些人，都是老一辈的物理学家，他们才有重新适应的问题。物理学的大变动发生在1926年，那时候我才8岁。因此，我学的物理都是新观念。现在最大的问题是，会不会再来一次大变动？那就没有人知道了。”

后：“你一定很高兴为促进和平而努力。”

费：“不尽然，我从来没有想到和平的问题。老实说，科学是不是真能促进和平，谁也没把握。”

后：“事情变化得可真快，这100年来，很多事都变了。”

费：“这座皇宫可一点儿都没变。”（这句话是我想的，但没有说出口。）“是啊！”

接着我大谈在19世纪60年代世人的种种知识，以及随后发现的种种东西。最后，我笑着说：“你看，我们这种教书匠，一有机会就忍不住长篇大论起来，哈哈！”

王后看我太不上道，懒得再理我，就转身去和另一边那位女士闲扯。

又过了一会儿，国王走了过来，王后也站了起来，国王在她耳边说了几句悄悄话，他们就一起走了出去。费某人又去找王后的秘书聊天，最后还是他亲自送费某人通过警卫，走出皇宫的。

你错过这场盛会，真是太可惜了。我不知道什么时候还有机会，找个国王和王后给你见见呢。

今天早上，当我和几位教授正要离开旅馆的时候，忽然广播说柜台

有我的电话。我去接听了之后，回来向同伴们宣布：“是王后的秘书打来的。现在我得先告退，不陪你们了。”他们都吃了一惊。原来早就有人注意到，费某人在皇宫里，和王后谈得太久、太热烈了。但我没有告诉大家，这其实只是我和秘书的约会。他邀我去他家坐，和他太太及两个女儿见见面（他共有4个女儿）。我也邀请他，如果有机会来美国的话，到帕沙迪纳家里来作客。

他太太和女儿都非常和善，房子也很漂亮。参观他家可比参观皇宫要愉快多了。房子是一种比利时式老农庄的式样，是他自己设计监造的，盖得非常好。房子里有很多老式的橱柜和桌子。和很多现代化的设备摆在一起，非常调和。在比利时，他们要找一些古董家具，可比我们在洛杉矶容易多了，反正到处都是老式的农舍。他有个很大的庭院，还有个菜园，还有一只据说是来自华盛顿的狗。有人送给国王，国王又转送给他。这只狗的个性很好，很像我们家里的奇威，我想这是因为它们都深受主人的宠爱。

在庭院的树下，他还摆了一条自己亲手做的长凳，可以坐在凳子上欣赏四周的田野风光。屋子比我们家略大，庭院则大得多，但是还没有好好地规划。

我告诉他，自己在帕沙迪纳也有个小小的城堡，里面也住着一位王后。如果他有机会，也希望他来看看。他说，如果有机会，也很愿意来拜访。如果下次王后再到美国访问，他一定会跟来。

我随信附上他家的照片和他的名片。这样我就不会到处乱塞，把它们给弄丢了。

威，并把我的历险记转告妈妈。我会提早赶回来。



费曼与奇威，摄于1961年

我知道这次没带你，把你丢在家里，你一定很难过。但我以后一定会想个什么方法来补偿你的。别忘了，我深深爱你，也以我们的家和我的家人为荣。秘书和他太太都祝福你，也祝福我们全家人。

我最希望的是你在这里陪我，其次就是我在家里陪你。替我亲亲奇威，并把我的历险记转告妈妈。我会提早赶回来。

你的丈夫深爱着你。

你丈夫

※米歇尔注：奇威是我父母亲的宠物狗。这么多年来，我父亲非常喜欢狗，经常躺在地板上和狗玩耍，教它们一些平常的把戏，如拜拜（作揖）、摇尾巴、拿报纸等。他曾经教会一条狗听口令伸出舌头。我们从来不知道这个把戏有什么用。这些年来，我母亲温妮丝也策划过几次探险。例如到墨西哥塔拉乎马拉（Tarahumara）印第安人偏远的部落去游访。而全家到不知名的地方去露营，更是家常便饭。

费曼致托雷（**Volta Torrey**）编辑|**1961**年**11**月**15**日

1961年4月，在麻省理工学院建校百年的纪念会上，费曼以“物理学的未来”为题，发表专题演讲。本来校庆的筹备会是准备把当天的演讲内容全部收集起来，编印成册的，但后来这个计划胎死腹中。麻省理工《科技评论》（Technology Review）杂志对这篇演讲很有兴趣，想把它登出来。托雷先生写信给费曼，征求他的同意，并送手稿请他过目。

亲爱的编辑：

关于我在麻省理工百年校庆纪念会上的演讲稿，有一些混淆。首先，我做了一场演讲，还当场录音，留下了录音带（且称它为A版）。接着有人负责编百年校庆的纪念特刊，寄给我一份重新编排、整理过的讲稿（称为B版）。这很像你知道的故事，也是他们寄给你，而你现在寄来给我过目的东西。但是我不喜欢这个B版，因此，已请他们把原始的录音带寄给我，我亲自整理、修正过之后，就寄还给他们了（称为C版）。

请你去找那些筹印百年校庆专刊的学生要C版（请参阅“附录

三”）。我最喜欢那个版本，它比你想刊登的这个B版好多了。你想登的，应该是C版吧？我手边正好没有这个版本，否则就不会让你跑来跑去的。

谢谢你的耐心。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致印度马德拉斯数学科学研究所所长拉马克里希南（Alladi Ramakrishnan）|1962年1月30日

拉马克里希南所长写信要求费曼同意，让他把费曼所做的强相互作用模型发表出来。那是费曼尚未公开发表的东西。在此之前，拉马克里希南已得到费曼同意，让他在某本书里引用一些费曼的量子电动力学笔记。他希望能同时把这些未发表的东西也弄进去。他在信中说：“如果你不介意，我就把它们寄给出版社。否则我必须删除部分文稿，而这在我目前的印制阶段，会引起相当大的不便。”

（有点像是先斩后奏，对不对？）现在他也提议，若费曼有任何意见，他也可以加在附注里。下面就是费曼的回信。

亲爱的拉马克里希南先生：

很遗憾，听说你想要发表我以前所写的强相互作用模型。我记得在这份东西的封面上，已经特别注明“这份东西目前尚无发表的计划”。我之所以没有发表，是有理由的。我不能肯定它是否正确——我的意思是，不能肯定自己是否把大自然的特性，正确地描述下来。到现在，我更没有把握了，几乎要肯定它是错的了。

我个人有一项原则，就是尽量保持自己发表的东西在一定的水平之上——至少每篇论文都与大自然或它的运作法则有某种关联。只推测它是怎么回事，对我来说是不够的。除非我对这项推测相当有把握，是极可能正确的。否则，我也不用忙着写一篇针对目前一些推测的评论性文章了。

因此，你很慎重地去处理一些我认为是错的东西，让我觉得很尴尬。我很希望你把这些东西抽掉。

但是考虑到这样做，可能对出版社造成相当的困扰。第二个办法是如你所建议的，把我下面这段陈述放到里面，当成附注：

“费曼教授认为，物理学家的责任不只是把大自然运作的模型推测出来，还应该进一步去查明是不是真的这样。因此，他认为这个模型只是一种猜测，几乎已确定并不能描述观测到的实际状况。他不认为这种东西有正式出版的价值。”

如果你愿意，也可以补充自己的意见，譬如：“然而，笔者觉得读者可能对这个模型有兴趣。这是科学家尝试理解大自然的一个案例，所以仍把它放在这里。”诸如此类的，都可以。但是不管怎样，只要你想把那个模型弄进你的书里，请务必加注我前面所写的那段话。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致**Y**先生|**1962**年**2**月**8**日

1962年2月5日，NBC电视网正式播出《关于时间》的影片。一位我称他为Y先生的观众先写信给洛杉矶KRCA电台，抱怨他们的节目是正统派科学的传声筒，只看得见正统科学家对相对论的观点。他后来把信件

复制了好几份，分别寄给费曼和其他4位科学家，还寄给3个相关组织。在信里，Y先生攻击了影片中的“双生子佯谬”（twin paradox）是错误的，影片举这个双胞胎太空旅行故事的例子，是为了替不正确的正统科学观点作“宣传”。他表示，自己受到打压的观点才是正确的。

（我不能叫这个陌生人为X先生。因为很多朋友都知道，费曼有个雅号，就是X先生。）

亲爱的Y先生：

你寄了一份给KRCA电视台信件的复本给我，抱怨电视节目《关于时间》里的情节。我是该节目的科学顾问，在节目里放进双胞胎太空旅行的故事是我的责任。我之所以用它，是因为我相信它是正确的。请你相信我对“宣传”或说服大众这些事，并没有什么兴趣。我们都同意，应该只对科学的正确部分有兴趣。

但就算我们只对正确的事有兴趣，难道我们不能说“双生子佯谬”所描述的现象是正确的吗？我衷心地这么认为。而且我相信科学家对运动中的μ介子（mu-meson）寿命的观察，已经证实这个论点。你似乎对此不以为然。我倒想听听你的看法。如果我不对，又错在哪里？多年以来，我都是利用同样的观念在研究物理工作，好像没有碰到什么现象是违反这些观念的。事实上，在预测新现象上，这些观念似乎也用得很成功。如果有不同的观点，也能成功地达成下面两件事，将会令我吃惊，同时令我高兴：

1.成功地预测出所有现在的实验已经观测到的物理现象。

2.预测出不同的双胞胎太空旅行的结果。

诚挚的祝福

费曼

●中文版注：

“双生子佯谬”的故事是这样的：彼得与保罗是双胞胎兄弟，有一天保罗驾太空船以接近光速的速率飞奔到太空中。待在地面上的彼得会看到保罗的时钟明显慢了下来，他的心跳、他的思想和他周围的一切，全都慢了下来。但是保罗自己可不觉得，太空船里的一切，跟他以前在地面上的感觉完全没有两样。可是当保罗在外太空待了一段时日回来后，会发现他比留在地面上的彼得年轻些！

费曼致**Y**先生|**1962**年**3**月**14**日

Y先生连续写了几封情绪性的信件，攻击费曼所参加的一些科学团体都打压他的见解。但是Y先生从来没有清楚解释自己的见解是什么。

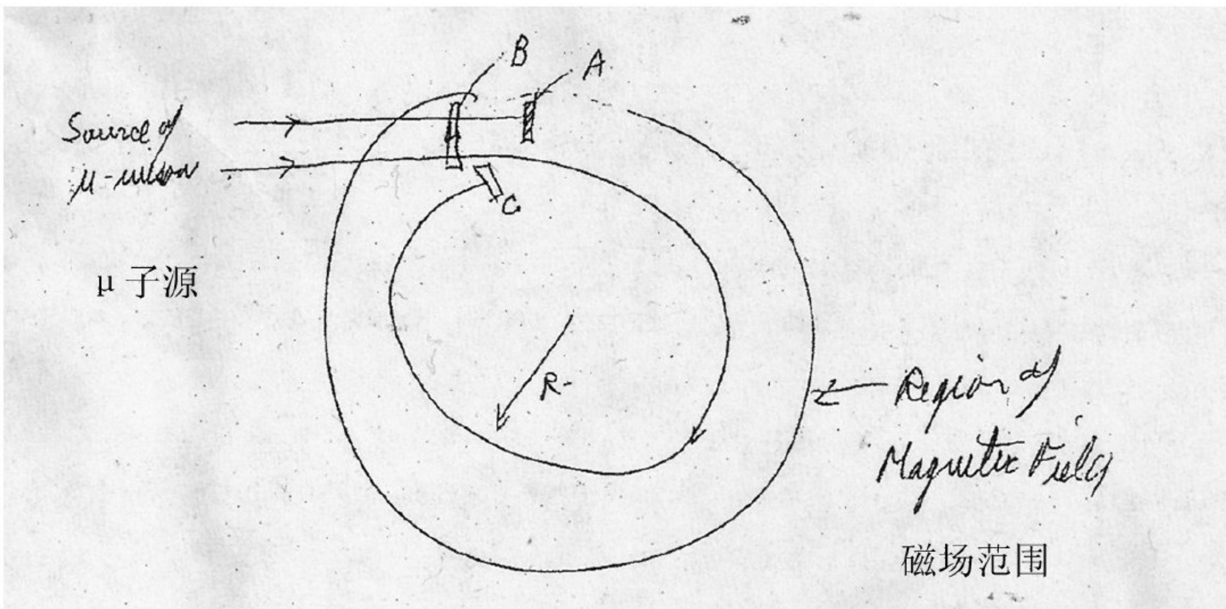
亲爱的Y先生：

我收到你几封信，但是我看不懂你信里所表达的意思。诚如你所说，这不是观念上的问题，而是发生的现象到底是什么。因此，为了弄清我们是不是真的在“时钟佯谬”的现象上存有歧见，我想请教你，依你的科学观点，下面这个实验的结果是什么：

有一弱束的μ介子，由射源以速度υ射过来，会经过一个很薄的计数器*B*。所以每个μ介子进来，我们都知道。μ介子有一半会撞击到*A*物质，而这个东西厚到可以把μ介子挡住。在这种情况下，μ介子后续发生的衰变是可以侦测的。μ介子从*B*跑到发生衰变的地方*A*的平均时间（从*B*到*A*之间有非常短的时间差）是可以度量的，我们且称它为τ_0。（你知道的，它正好是2.2×10^{-6}秒）。而在A，一个μ介子在时间*t*发生衰变的概率是：

$$e^{-T/\tau_0}$$

此外，那些没有撞到*A*的一半μ介子，沿着一个磁场前进，大约转了360°，撞上另一个计数器*C*。（由于*C*不可能放在正好360°的地方，我们在得到的数据里，可以做个小小的修正，把μ介子真的到达360°位置的时间算出来。）你认为会有多少个μ介子能到达*C*？假设轨道的半径是*R*，因此，μ介子走一圈所需要的时间$T=2\pi R/\upsilon$。



我认为你的答案，应该是下列两者之一。

（一）*μ*介子衰变的寿命和它的速度无关，因此*C*的数目和*A*的数目是一样的。在一些时间延迟之后，还是：

$$e^{-T/\tau_0}$$

或者（二）运动中的μ介子，寿命看起来比较长，因此，抵达计数器C的μ介子数目是：

$$e^{-T/\tau_0}$$

而τ并不等于静止时的τ0：

$$\tau = \tau_0 / \sqrt{1 - \upsilon^2/c^2}$$

υ是μ介子环绕磁场的速度，c是光速。或者，你得到的答案两个都不是。

我从你的信里，看不出在这种情况下，你的答案是什么。你能不能直截了当地把答案告诉我？这样我们才能够进一步讨论下去。

请原谅我没有立刻回信。我手头有些事正在忙，总是没办法立刻回信。

诚挚的祝福

费曼

费曼致**Y**先生**|1962**年**4**月**3**日

Y先生对于费曼这么仔细地回他第二封信，非常开心，因此写了一封很礼貌的回信。但还是没有回答费曼提出的问题，于是费曼又回了一封信给他。

亲爱的Y先生：

我3月14日的信，只是想知道我们两人对于一个特定的实验情况，是不是有相同的预期结果。当然，μ介子的速度υ一定小于光速，甚至不必非常接近光速，只要有光速的80%左右就行了。

如果我不知道你对这件事的意见如何，那我们这样的信件往来也没

什么意思。因为我不知道自己的观点究竟是不是和你一样。你谈到我们之间“观点对立”以及“我的论点”，但我就是不明白在这个实验的结果上，我们的观点是否真的对立，或是有歧见。简单地说，我根本就搞不清你的观点何在。因此，我希望你在下一封来信中，能简单而清楚地陈述你的意见。如果你对实验条件有任何疑问，我很愿意更进一步详细解释。

诚挚的祝福

费曼

费曼致**Y**先生**|1962**年**4**月**10**日

Y先生回信质疑费曼那个想象实验的前提，就是μ介子的速度要非常接近光速。他提出一些和相对论有关的定性问题。于是费曼再给对方一次机会。

亲爱的Y先生：

谢谢你4月7日的来信。但是看完信之后，我还是不知道对于我所问的问题，你的答案究竟是什么。科学思想的目的，就是预测在某种实验情况下，会得到什么答案。所有哲学上的探讨，都只是借口而已。μ介子运动的速度当然不会是光速。为了让问题更清楚，我们可以假设磁场的强度是1万高斯，轨道半径是44厘米。（根据计算的需要，我们可以假设μ介子的速度等于光速的0.8。）假设计数器C是放在360°的位置之前10厘米的地方，那么在计数器A和计数器C之间计测到的数目，有什么关系？

这不是为了让你掉入圈套而设计的问题。它的设计目的，是要看看我们对于大自然的预测是否一样。我们对事情的分析和思考模式，显然是不一样的。但最重要的问题是，我们对于某个特定情况下的预测，结

果是不是一样。如果一样，这中间就没有什么科学问题牵涉其中了，只有哲理上的争执而已，我就不必去烦恼谁是谁非了。如果我们双方的预测结果不同，那也很容易决定谁是正确的。我们就做实验，让答案自然揭晓。

请回答我提的问题。不要再用很多名词来躲闪，说什么我忽略了相对论的“我的命题”或谈到“我的哲学”，或者说我“忽略了μ介子是个粒子的事实”等。这些可能是事实，也可能不是事实，但是无关紧要。你别告诉我说，我没有办法设置这样的实验装置，或者不可能做出1万高斯的磁场，或者根本就没有μ介子。如果你同意我能设置这样的实验装置，请告诉我，你觉得两个计数器得到的计数比率应该是多少？

诚挚的祝福

费曼

米歇尔注：根据费曼留下来的档案，以后Y先生没有再来过信。

费曼致符尔（**Douglas M.Fowle**）先生|**1962**年**9**月**4**日

威斯康星州的符尔先生见到一篇杂志文章，报道了加州理工学院和费曼。符尔看到学生的淘汰率高达35%，觉得非常吃惊，立刻写了一封信给费曼。符尔指出，加州理工学院在1500名成绩优异的申请入学者当中，只收了大约180名最顶尖者。就学后，居然还有这么高的淘汰率，实在太不可思议了。他认为“强制刷掉1/3的学生，不但是教育资源的浪费，也会扭曲教育的方向。另外，对年轻人也过于残忍”。

亲爱的符尔先生：

我也不认为加州理工学院甄选学生的方法很好。只是我以前“忙”于其他事，从来没有花太多精力在那上面。这当然是有点不负责任。我并

不想为自己找借口。谢谢你的来信，我以后会注意这个问题。

但我认为，在今天，还没有一种科学方法能够好好地来挑选人或判断人。因此我怀疑，有什么更好的办法可以做好这件事。

其实我不太确定，不过我觉得，入学考试和高淘汰率很可能没什么因果关系。倒是能进入这里念书的可怜学生，他们会遭遇到什么处境，才是关键。举例来说，假设有个学生，高中以前的成绩都是名列前茅，进了加州理工学院之后，发现自己居然在班上是最后一名，难免无法适应。事实上，不管当初是怎么考的，来到这里，总会有一半的学生落在后段。那么从心理层面来看，或许会有1/3的学生经不起这种挫折，以致退学。

这种和人有关的问题是很难处理的，我也不太懂。但是我相信，没有人真的能弄清楚。谢谢你的来信。以后如果有机会参与讨论这件事，我会多留意的。

诚挚的祝福

费曼

费曼写给温妮丝|**1962**年，于华沙大饭店

最亲爱的温妮丝：

首先，我爱你。

其次，我想念你和娃娃，还有奇威。真希望我是在家里。

我现在坐在大饭店的餐厅里。早就有朋友警告我，饭店的服务慢得出奇。因此我特意回房去拿纸笔。本来打算准备明天要发表的论文，但是后来想想，何不趁这个机会给我的亲亲写封信？

波兰像什么样子？我最强烈的感受是，它几乎完全是我想象的样子，这点也令我非常惊讶。我指的不仅是城市的外貌，还有它的人民，人民的想法，以及他们如何看待自己的政府等，都非常符合。只有一个小地方不一样，这点我等会儿再说。显然我们在美国，消息还蛮灵通的，《时代》或一些旅游杂志办得还不错。

不同之处是，我忘了在第二次世界大战期间，华沙除了极少数的建筑物（墙上都是弹痕累累，很容易辨认）之外，几乎已经全毁。因此全城的建筑物几乎都是战后才重建的。因为华沙很大，全市的建筑很多，其中约有7/8是重建的新建筑。单凭这一点，就已经相当了不起了。当然，你知道这里的建筑工人是很天才的，居然能盖出一些老房子。事实上也是如此。很多房子墙面剥落，用水泥像补补丁一样地东抹一块、西涂一块的，有的还露出里面的砖来。窗架上锈迹斑斑，雨水还把铁锈冲下来，在墙上浸出一条一条的痕迹。不仅如此，建筑师也是老派的，房子的装饰都是20世纪30年代或20年代的式样，只是厚重得多。没有什么有趣的建筑（只有一栋建筑例外）。

旅馆的房间很小，摆放着一些便宜的家具，褪色的棉床单铺在凹凸不平的床上。不过天花板很高（约有4.5米）。墙壁也很老旧，上面还有些老的水渍，让我回想起纽约那家古老的“大饭店”。但是浴室的设备（如水龙头等）却很新，还闪闪发光。这令我感到困惑。在这么一家老旅馆里，它们看起来太新了。我后来才发现，这家旅宿其实才盖了3年。我忘了他们盖老房子的本领了。（到现在还没有一个服务员理我。我实在受不了了，就起身拉住一个从旁边走过的服务员。他满脸困惑，叫了另一位服务员过来。结论是：我坐在没有人服务的区域，必须换个位子才行。我大声抗议。结果呢？抗议无效，还是给安置在另一张桌子。他们给了我一份菜单，要我在15秒钟之内点好菜。）我点了一份酥炸小牛排。

关于房间里面有没有窃听器的问题。我在房间里到处找那种老式插座的盖子（就像我们的浴室天花板附近的那个东西），一共找到了5个，但是都非常靠近天花板。也就是说，没有梯子根本就够不到，所以我放弃了。但是另外有一个铁盒子似的东西在电话机附近的墙上。它有个螺丝掉了，所以我把盖子稍微拉开，看了一下里面的情况。里面有很多电线，就像收音机的背面。谁晓得它是什么玩意儿，但是我并没有看到任何麦克风。电线的末端都缠着绝缘胶带，或许麦克风是藏在胶带里。但是我没有螺丝起子，所以没有把盖子拆下来检查。简单地说，如果里面没有窃听器的话，那他们可浪费了很多电线。

波兰人很善良。服饰至少有中等的水平（汤来了），有不错的乐队和跳舞的场所，不像传说中的莫斯科那么沉闷无聊。政府就像你在城里的美国移民局更换绿卡时，不可以拿20元要他们找钱一样。举个例子来说，我的铅笔掉了，要在饭店的小店里买一支铅笔。“钢笔一支1.10美元。”“不，我不要钢笔，我只要铅笔，就是木制的，里面有石墨笔心的那种笔。”“我们不卖铅笔，只卖每支1.10美元的钢笔。”“好，那是多少波兰币？”“你不能用波兰币买钢笔，只能用美元1.10元。”“为什么？”“规定的。”所以我只好再上楼，到房间拿美元。我给了他1.25美元。但是店员不能找我美元，我只能到饭店的出纳柜台去换钱。出纳一共给了我4张单据，店员拿一张，出纳拿一张，另外两张给我保存。我要这两张单子干什么？回答是，我回美国的时候，给海关看单子，这支钢笔就不必课税。因为它是美国制的。（这时候，我的汤碗才收走。）

国营企业与私营企业孰优孰劣的争论，见仁见智，大多太抽象又太理想化。从理论上来说，计划经济也有它的优点，但如果没有人能改善政府机构的颟顸无能，再好的计划也不可靠。

关于开会的地点，我完全猜错了。本来我想象的，是以前的皇宫禁城，有很大的房间，可能是16世纪遗留下来的。我又忘了波兰几乎全毁

了，这座皇宫也是新盖的。我们在一间圆形的大房间里，白墙上有金色的饰物，上方有包厢，天花板上画着蓝天白云。（主菜上来了。我开始吃，味道很好。我点了甜点，是一种凤梨派，重125克。这里的菜单很精确，还标出重量呢！就像“鲱鱼排，144克”等。我没看到有人真的拿秤来称称看，斤两够不够。我的酥炸小牛排是100克，我也没有称它。）

这次会议，我一点收获都没有，什么也没有学到，只是白忙一场。这个领域没有什么活力（因为他们没有做什么实验），也没有什么高明的人在里面。结果是，会议聚集了一群笨蛋（共有126人），对我的血压不利。会议上报告的和讨论的，净是一些废话。我只能在会场外和人争论，譬如说在午餐的时候。每当有人问我问题，或开始说他在做什么研究时，就弄得我一肚子火。他们谈话的内容，总是不出下面几类：①完全不知所云；②含糊而不确定；③一些明显正确或不证自明的东西，却给当成重大的发现，大费周章地分析、讨论与发表；④对一些多年来已经检验过、大家都普遍接受的正确事项，却以很权威的愚蠢态度，声称它是错的（更糟糕的是，这些白痴相当固执，即使和他们争辩，也没办法说服他们）；⑤试图做一些根本不可能或者没有用的事，到了最后才发现它们根本是错的（甜点来了，我正在吃）；或⑥很明显是错的事。近年来，这个研究领域“非常活跃”，但这些很“活跃”的人只是在指出以前那些“活跃”的人是错的、没有用处等。就像瓶子里的一群软虫，每一只都想踩在别人的头上爬出去。并不是他们做的事有多难或多辛苦，只是没有高手。大高手都跑到别处去了。

记得提醒我，不要再参加什么引力会议之类的了。

有一晚，我到一位年轻的波兰教授家做客（他的太太也很年轻）。一般波兰人的公寓，每人平均只有6平方米的居住面积。他却很幸运，夫妇两人拥有17平方米（有卧室、厨房和浴室）。他对于接待我们这些

客人（我、惠勒教授夫妇和另外一位教授），显得有些紧张，一直为房间狭小而抱歉。（我向服务员要账单好结账。这会儿，他同时有两三桌客人要招呼，有点手忙脚乱。）但是他太太却显得放松，不时还亲吻他们养的暹罗猫“波波”，就像你对奇威一样。她很善于招呼客人。我们吃饭的餐桌要从厨房拿出来，而且要先把浴室的门拆下来，才摆得下桌子。我看她料理这些事，轻轻松松的。（现在，整个餐厅只剩下4桌客人，却有4位服务员。）食物很棒，我们都吃得很开心。

哦！对了，我提过华沙只有一栋有趣的建筑，值得一看，它是全波兰最大的建筑物“文化与科学宫”，是苏联送给波兰的礼物，是苏联的建筑师设计的。亲亲，它怪异得难以置信，我简直不知道该怎么形容才好。它可说是世上最疯狂的怪胎建筑物了！（账单来了，是不同的服务员送来的。我现在等他找钱。）

现在应该要结束了，希望找钱不会等太久。我怕等太久了，所以没点咖啡。即使如此，看看星期天在华沙大饭店吃一顿晚餐，居然可以写这么长的一封信，你就知道他们的服务多么有效率了。

我再重复一次，我爱你。希望你是在这里，当然如果我能跟你在一起就更好了。家里真好。（找的零钱来了，但有些错，大约差了0.55元波兰币，算了。）

现在，再见了。

理查德

费曼致银伯德特公司太平洋区经理莫兰（**Thomas K.Moylan**）先生|**1963**年**3**月**25**日

1963年3月14日，费曼受聘担任加州课程审议委员会的委员，开始长期评估加州公立学校的课本。

亲爱的莫兰先生：

谢谢你的贺函。函里，你附了一些你们书里的作品，并且提议我们碰个面。我还没有空仔细看你给我的资料。另外，我觉得若只和一两家出版社的人谈论教科书的事，而没有和所有的出版社接头，并不太妥当。但我又没有那么多的时间，可以和所有出版社都碰头。因此，会面的事，就免了吧。

我希望把自己所有的时间，都用在教科书的评估上。希望你不会觉得我厚此薄彼，对你不公平。我相信你们的课本会为自己说话的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：对其他的出版社，如史考特公司、弗司曼公司、莱劳兄弟公司等，费曼都这样回复。

阿拉巴马州特洛伊州立学院的雷革斯比（**Ernest D.Riggsby**）副教授致费曼|**1963**年**4**月**17**日

亲爱的费曼博士：

我的博士生正在进行主题为“科学方法的本质”的论文研究，收集有名的研究型科学家和哲学家所作的诠释。由于找不到更关键的参考文献，我们只好直接向一些科学家求助。如果你能帮我一些忙，我们会感激不尽。

如果你愿意，请简要告诉我们，你认为什么是科学方法？该如何描述这些科学方法？

我们已经从参考文献收集到一些像你这样的卓越科学家在这个主题

上的相关叙述。但我们相信，如果能直接从科学家本人得到最新的相关叙述，那对我们的研究将更有帮助。

这项请求，不一定要耗费许多大科学家的宝贵时间。如果你觉得这个要求对你来说实在有所不便，我们也能体谅的。

我们也注意到，在各级科学教科书里，都提到科学方法。而它们的叙述和许多实验科学家所想的，并不太一样。后者所描述的，显然更有弹性得多。我们因此认为，通过这封信，将会得到一些对这项主题更实际、更有意义的陈述。



费曼和一岁的儿子卡尔一起玩鼓。摄于1963年

如果你实在没空，或不想正式表达书面意见；或许你以前已经在什么地方，就所谓的科学方法表述过意见，那么请告诉我们可以到什么地方寻找这些资料。通常这些资料都藏在其他领域的文献里，无法利用“科学方法”这种关键字来检索或搜寻出来。

请求你允许我们引述你的资料。

诚挚的祝福

雷革斯比副教授

费曼致雷革斯比副教授|**1963**年**4**月**30**日

亲爱的雷革斯比教授：

很抱歉，我并没有发表过关于“科学方法”的叙述。

最近我在华盛顿大学有一系列的演讲（叫“丹兹讲座”），其中的第一讲和第二讲里，有部分谈到这个主题。但是演讲内容什么时候才会印出来，我也没把握。

但是简要地说，要判断某个想法是否正确，唯一的原则是实验或观察。这是仅有的，也是最绝对的依据。其他的所谓“科学方法”的原则，都只是这项基本原则的副产品而已。这些推导出来的原则，和研究素材的本质及发现的方式有关。另外，有一些再往后推演出来的把戏（例如由分析而推论，或选择“明显最简洁的解释”），只是我们在建构新想法时，简化情况的方法。有了新的想法之后，就可以再进行测试和实验，得到新的经验。

诚挚的祝福

费曼



费曼在加州理工学院的咖啡时间，与人讨论物理的神采。摄于1964年

●中文版注：

华盛顿大学的这一系列三场丹兹讲座（John Danz Lecture）的内容，请参阅《这个不科学的年代：费曼谈科学精神的价值》一书。第一讲在1963年4月23日晚上8点登场，讲题是“科学的不确定性”。第二讲在4月25日，谈“价值的不确定性”。第三讲在27日，题目是“不确定的年代”。

康奈尔大学物理系主任帕瑞特（**L.G.Par-ratt**）致费曼|**1963**年**8**月**30**日

亲爱的狄克：

你有没有写信给我，让我把信转给梅森哲讲座（Messenger Lecture）委员会，好让他们要求校长（我是指康奈尔大学）寄出正式的邀请函？

另外，最近学院物理委员会写了一封信来，问能不能把你在梅森哲讲座的录像磁带公开发行。我不知道梅森哲讲座委员会对这件事的看法如何。但，首先，你的看法如何？

诚挚的祝福

里曼·帕瑞特

费曼致帕瑞特博士|**1963**年**9**月**6**日

梅森哲讲座从1924年起，每年举行。是康奈尔大学的校友、梅森哲（Hiram J.Messenger）教授成立的基金所办的。讲座的目的是“提供一系列的演讲课程，探讨文明的演化，特别希望能提升我们在政治、商业和社会生活的道德标准”。

亲爱的里曼：

我不知道你在8月30日的信里，究竟要什么。如果是邀请我主讲“梅森哲讲座”，我倍感荣幸，将欣然接受。我想讲的题目，很像是“物理定律的本性”这类的。至于每场演讲的子题（一共多少场？是不是6场？），目前还很难决定，要到最后一刻才能决定（除非主办人很坚持，非要我事先提出不可）。

至于录像磁带要如何处理，我倒是没有什么特别的意见。我关心的是，只要在录制的过程中，不要对我的演讲有太多干扰就行了。不要有很强的聚焦灯光，不要在最前面摆着贴身的摄影机，不要有一大堆电缆线横七竖八地拉过地板，等等。在某个打光位置，用一架简单的摄影机

就行了。尽量不动声色地完成录制工作。不要让一些技术人员跑来跑去的，影响听众和我的兴致。我没有什么反对意见；除非委员会不同意。

希望我信里回答的，正好是你要的东西。

诚挚的祝福

费曼

●中文版注：

1964年11月，费曼受邀主讲梅森哲讲座，总共发表了7场演讲。演讲记录整理后，于1965年出版。中文版的书名是《物理定律的本性》。

费曼致苏联核能联合研究院筹备委员会主席布罗金特西夫（**D.Blokhintsev**）**|1964**年**6**月**25**日

亲爱的先生：

谢谢你邀请我参加杜布纳（Dubna）研讨会。我仔细考虑了这件事，决定前往。

诚挚的祝福

理查德·费曼

加州大学洛杉矶分校物理系主任萨克森（**D.S.Saxon**）致费曼**|1964**年**10**月**15**日

亲爱的费曼教授：

目前我们系正在考虑把切斯特（Marvin Chester）博士升为副教授。我们想请你写封信来，评估一下他的研究贡献，以及他身为物理学

家的水平如何。非常感谢你帮这个忙。

我要先谢谢你为这件事费心。

诚挚的祝福

大卫·萨克森

狄克：真抱歉打扰你。但实在需要你帮忙。

大卫

费曼致萨克森|**1964**年**10**月**20**日

亲爱的大卫：

你要求我写封信，评估切斯特的研究贡献及作为物理学家的水平。以下是我的回答。

兄弟，这是怎么回事？他这些年来不是一直都在你们那儿吗？最能评估他的，应该是你才对吧！

记得你在几年前，也曾问过我类似的问题。当时他是在我们这儿工作，但是我并没有深入参与他的研究计划。那时，我对他的原创能力印象深刻，他可以把理论上的争论化为实际的实验，看看结果如何，也能设计并执行关键实验。我在学生的身上，很少看到这些能力能如此均衡地搭配在一起。我看错了吗？他在你们那里的表现如何？我现在的评估不可能比上次更准了。

诚挚的祝福

费曼

※米歇尔注：这封信是放在档案里的“推荐”类。从此以后，费曼拒绝再为任何机构或单位，基于升迁之需，对个人的能力和表现做评估。

加州圣拉菲尔的福克斯（**R.C.Fox**）致费曼|**1964**年**10**月**26**日

亲爱的费曼教授：

当我读了你写的《费曼物理学讲义》第一册，实在喜不自胜。不知道该怎么告诉你，我有多么高兴。关于这本书，我想说的话有那么多，但实在没那么多时间郁写下来。我曾经使尽九牛二虎之力，研读了很多书。但总是在到达目标之前就迷失途中，在一些例题中打转得筋疲力尽。当然，很多人都说要辛勤用功，才会有收获。但也不必把求学之路弄得如此艰难险阻吧。经常一大堆“显然”的步骤在里面（老天爷，对我而言是显而不然），弄得整本书硬邦邦、干巴巴的，一点趣味也没有。

为什么外面那么多烂书（至少对我而言，是烂书）？像你这么好的书，为何如此稀有？

当然，书里的谈话式语态，也增加了它的可读性。它让我想起伽利略的《对话录》，也是用谈话的语气来贯穿全书。我知道很多人写书喜欢精简风格。对有些人，可能这种风格很合适，但对我就未必合适。

另外，你补充的一些有趣的小问题，也让人喜欢。这些小问题通常是我和同学想问又不敢开口的问题。怕被别人嘲笑嘛，但其实是必要的。谢谢你给了我们解答。

老实说，看你的书好像品尝美酒，让人陶醉。我迫不及待地想看这本书的第二册。其实我很贪心，希望它能第三册、第四册、第五册的一直出下去。如果你需要读者的鼓励与回响，我是义不容辞的，而且相当乐意。另外，我还想点菜呢，列出一些我很想看的主题：像张量、群

论、量子力学等，就像第一册那种写法就行了。当然，我是太贪心了些。但人总是不能轻易放弃希望，对不对？

再次谢谢你写出这么棒的书来。我觉得会引发一场大学一年级物理教学的革命。一定会的！这本书比西尔斯的教科书好太多了。我希望以后不再碰到那种写得乱糟糟的书。

如果我说的真心话伤到了谁，那我真的很抱歉，但我说的是实话。别让那些正经八百的批评吓倒，你做了一件美妙的事。如果可能的话，请继续做下去。

敬爱你的

福克斯

费曼致福克斯|**1965**年**1**月**4**日

亲爱的福克斯先生：

谢谢你这封“忠实读者”的来信。这本书的编辑是雷顿教授，他做得很好。那些精巧的栏目和补充说明，都是他的主意。刚开始的时候，还费了我一番手脚吧。现在，书的第二册已经出版了，是由另一家很有创意的公司编印的。他们做得太棒了，让我有点不好意思。因为大半时候，我都只能舒舒服服地靠坐在椅子上，享受现成的果实。是谁想到这么恰当的字句？是我吗？

另外值得一提的是，第二册的原始演讲，应该和第一册的演讲有同样的水平。要有耐心，第三册再过几个月就能和大家见面。至少我希望如此。（张量在第二册里，量子力学在第三册。对不起，我没有谈到群论，也不会有第四册、第五册等。我已经写完了。至少暂时告一段落。）

再次谢谢你的鼓励。

诚挚的祝福

费曼

纽约的葛门（**Betsy Holland Gehman**）女士致费曼|**1964**年**12**月**1**日

亲爱的狄克：

很多年以前，你那时候还在布鲁克哈芬，而我在附近东汉普敦的德鲁戏院里演闹剧。如果这种说法没能唤起你的记忆，我们再试试这个：我是你表妹佩姬·菲力普的朋友。

当然，你会记得我的。

好，说了一些该有的客套话，让我言归正传。

你的名字近来经常出现在各处，还附着许多信息，好像你做的研究工作很有趣，也很重要（通常都是这么说的，真是天晓得）。不知道有没有人在全国性的杂志上介绍过你，或为你写专文？如果还没有，我很想做这件事。我们不必把你做过的事，巨细靡遗都列进来，因为有些事可能涉及一些机密问题。不过我的确想到一些简单、明了又易懂的方式来介绍你和你的工作，保证是你们这些神秘兮兮的科学家会很喜欢的。这样，就不必让大名鼎鼎的斯诺（C.P.Snow，1905～1980，英国物理学家，著有《两种文化与科学革命》）专美于前了。如果我没有记错的话，你的话和你的人都蛮风趣的。而且你还颇有说服力，讲话很有内容的。容我冒昧说一句，你这个人还蛮怪异的。

近来我专事写作，也编杂志。最近我还写过一本谈论双胞胎的书（我自己也生了一对双胞胎），是由李宾科特出版社印行的，即将发

行。我的家族和你的一位同行，叫提勒，有些亲戚关系。

如果你同意的话，我可以把介绍你的专题，投给《周末夜邮报》或《财星杂志》。如果你不反对，请回封信给我。

我听佩姬说，你的婚姻生活愉快，而且喜获麟儿。我为你这两件好事高兴。

如果你方便，请尽快给我回个信。

祝你一切顺利

葛门

费曼致葛门女士|**1964**年**1**月**4**日

亲爱的葛门女士：

我当然记得你，记得很清楚。

你想为我在全国性的报纸或杂志上做专题性的报道，真使我受宠若惊，实在太抬举我了。我虽然有点心动，但仔细想想，还是留在我的象牙塔里比较稳当。就让斯诺他们继续在外头引领风骚好了。科学家或许像女人一样，保持一点神秘，才有魅力。对不起，恕我放肆了。女人当然有她天生的魅力，但科学家就很难说了。

不管怎样，谢谢你这样恭维我。

诚挚的祝福

费曼

弗吉尼亚大学物理系教授克兰伯格（**Lawrence Cranberg**）致费

曼|**1965**年**1**月**6**日

亲爱的费曼教授：

我刚刚看完了一篇你的文章，题目是“科学与宗教的关系”。这篇文章的某些观点，是我们很想传达给大学理工科学生的。我们近来正重新整理大学部的科学课程。关于你写的东西我有些不同的观点，很想和你交换一下意见。你在文章里提道：“道德问题并不是科学的研究范畴。”我们就从这一点谈起如何？

达尔文曾经指出（在《人类系谱》第四章），伦理规范并不是智人所独有的。它其实代表一种有益于生存的社会适应。伦理道德难道不适合当作科学研究的主题而加以改良吗？

“将会”和“应该”之间的差别，只在于：一个仅陈述事实，另一个则带有强烈的主观意识。我认为道德教条只是一种“有条件的预测”的浓缩形式；而通常我们把“有条件”给省略了，因为它根本就是社会的必要基本条件，也就是“生存”。试看下面这两个陈述：“一个粒子在最短时间之内由A点走到B点，所经的路径‘将会’是一条抛物线。”与“如果X要活得欢喜自在，他‘应该’学习和邻居好好相处”。它们的逻辑有什么不同？我们若假定第一个陈述在理想状况下成立，而且考虑了不确定性原理，那么“将会”一词也等于是对物理系统的过度陈述。因此，这两个陈述在逻辑上可说是相等的。黄金比例难道不能算作是费马定理在社会上的一种应用吗？

坚持伦理和科学是泾渭分明的两件事，不但会造成彼此的混淆，还使双方的力量都削弱了。如果达尔文的说法是对的，为了适应生存的需要，伦理规范也需要持续的改变。说起科学，主要是寻找理由的活动过程，如果伦理把科学性排除，那它在适应的过程当中，就丧失掉最重要的本质了。

至于科学，若想要发挥最大的功能，当然要看它与公平、正义的关联性多寡而定。而这些公平、正义的原则，显然就是道德伦理。在今天，我们很痛心地看到，社会的伦理道德正逐渐受到腐蚀，科学的领导地位也逐渐式微。

诚挚的祝福

克兰伯格

克兰伯格致费曼|**1965**年**1**月**6**日

亲爱的费曼教授：

重读了一下我今天早上匆匆忙忙寄出去的信，我希望自己能把第三段中间所提的“在最短时间之内”这句话删掉。另外在这一段结尾的举例质问，也一并删掉。

我原先信里写的黄金比例，其实是达尔文书上同一章最后一页的说法。

至于最后一段提到的“科学的领导地位”，我指的是几个重要的科学家组织。

诚挚的祝福

克兰伯格

费曼致克兰伯格教授|**1965**年**3**月**3**日

亲爱的克兰伯格教授：

谢谢你来信讨论“科学与宗教的关系”。我并不坚持，科学和伦理是

分开的。我只是认为，伦理的基础必须以某些“非科学”的方式选择出来。一旦这些基础选定之后，科学当然有助于决定我们该做些什么事，不该做什么事。科学可以帮助我们看出，如果做了什么事，可能会发生什么后果。但是对于“我们是否想要某些事发生”这个问题，则和我们选择的所谓“至善”有关。诚如你提到的，这项选择并不会说，它和科学是分开的两回事。而且我们对所选择的“至善”，也没有置喙的余地。譬如你已经选了“生存”为终极价值，那么其他的非科学性的伦理道德，就不会是终极价值。也不能和这个终极价值抵触。

但假设我们有两种不同的生存方式：其中一种生存无虞，但是肉体受折磨；另一种生存方式也有同等的生存保障。但是精神上并不快乐。我们该怎么从自己的角度出发，选择自己认为正确的路？为了德国纳粹政权的生存，就能合理化暴君和殉道者的行为吗？只因为他们以所谓伟大的利益为己任，置个人生死于度外？

因此我想做的事是，指出在选择伦理原则的时候，仍然可以置疑。譬如，生存至上的原则是毫无疑问的吗？所有的人都同意这项原则吗？如果有人已经看出这里面的疑问与困惑，那谁能为科学解答这些疑问与困惑？

你信里的两种陈述，“一个粒子在最短时间之内由A点走到B点，所经的路径‘将会’是一条抛物线。”与“如果X要活得欢喜自在，他‘应该’学习和邻居好好相处。”在逻辑上并没有什么差异。

诚挚的祝福

费曼

费曼致英国广播公司的史力思（**Alan Sleath**）先生|**1965**年**4**月**7**日

来信谈到的是费曼在“梅森哲讲座”的文字记录。后来成书，

为The Character of Physical Law（《物理定律的本性》）。

亲爱的史力思先生：

我把第四讲到第七讲的讲稿还给你们。我认为这些东西呈现的方式很差，英文很糟糕，句子的结构也相当零乱（还好这些东西都是我自己做的，不能怪别人）。我没有空把这些讲稿整理成可以流畅阅读的好文章。我做了一些小修正，使讲稿里的物理概念更清晰。但没有时间再更彻底地修改。

我知道你们打算出版这些讲稿，让大家有东西在手边可以参考。我对自己发表的东西当然负责到底。就算你们以现在的形式印出来，我也认账。但是为了维护我的名誉，能不能在什么地方加上一段陈述或说明。可能你们可以在前言里表示，这个讲座并没有事先预备好的讲稿，书里的文章是直接由演讲会上逐字记录下来的，是纯口语的讲话，因为现场的听众可以经由我的肢体语言，得到我想传达的信息，等等。

仔细读了这些打好字的演讲记录之后，你们可能会决定不出版了。对我而言。这也是可以接受的。

致上我的歉意与谢意。

诚挚的祝福

费曼

费曼致罗切斯特大学天文物理系马歇克（**R.E.Marshak**）先生|**1965**年**5**月**18**日

亲爱的马歇克：

很抱歉，但我实在没有时间为你写歌颂贝特教授的文章。你弄得我

很不舒服。我太敬爱贝特教授了，因此觉得“应该”做你想要我做的事。但，是谁出了这个馊主意？在一个人60岁的时候，要为他出一份祝寿文集？难道没有别的方式可以表达友谊和敬意吗？我觉得自己有点像在过“母亲节”的味道。

诚挚的祝福

理查德·费曼

英格兰的姬尔（**Barbara Kyle**）小姐致费曼|**1965**年**8**月**13**日

这是第一次听说有梅森哲讲座的外行人（已经预购新书、还没读过），给费曼写的信。

我了解到什么？我知道当你想去计数有多少个粒子经过哪一个洞，以便测定它们的路径时，你会发出一道光来照射这些粒子，好让你看得见它们。但是这道光也同时改变了粒子的状态，使它们消失掉。如果不照射它，本来就不会发生这件事的。

我也了解，当你想知道它们跑多快，或实实在在长得是什么样子的时候，你也同时改变了它们的速率和特性。

因此，我们在全新的碳钢灯下，脸色发青、转身走开。不仅离开那些丑陋的灯光，也不必理会你那过度好奇的检验。而我们想逃避的测定，却又重复出现。

在深层的情感里，我能体会你的感觉。你必须检验自己的假设或数据，不管你怎么称呼它们。

如果你已经发现，它们的行为模式符合你公式的预测，或许它们比你所想象的更为多彩多姿。到时候，这些干涉狭缝之类的实验，就没有

人会再注意，也不再有人关心到底什么东西穿过小洞了。

我了解，你想把那些“还没有证实是错误”的假设，统合在一起，使它们看起来不会矛盾。但是一直到现在为止，你都还没有成功。

你说，数学的计算结果，在你期望是零的地方，得到的却是无限大（这是什么意思？这一点我还没有搞懂）。或者是另外一个预想的数目，而不是零。如果这个预想的数目是零，它和无限大真的有很大的差别吗？它们不都是圆吗？

我知道，问这个问题，或者问一些我喜欢胡思乱想的问题，好像给你一把六角形的钥匙，却要你去开一个锁孔是五角形的锁。我为这件徒劳无功的请求道歉。

像我这么一个外行人，能从你的演讲里学到什么东西？梅森哲讲座能让我这种全然无知的人得到什么启发？我只知道演讲者有一张非常真诚的脸。

我只知道，他所讲的那些东西是有意义的。有些东西我虽然不了解，也能感觉出它们的意义，而且还是蛮好的感觉。我知道，当预期“咔嗒”声在正确的地方响起来时，是一种多么美妙的感觉，就像高飞的鸿雁已在雪泥地上留下它的爪印。

但接下来，你就会专心去找那只鸿雁，不再管它的爪印了。希望我能看见你找到心中的鸿雁。

芭芭拉·姬尔

费曼致姬尔小姐|**1965**年**10**月**20**日

亲爱的姬尔小姐，感谢你的来信。

从你列出的“我了解到什么”的描述里，我很高兴地发现，你还真的了解不少东西呢。你从教授这里得到相当高的分数，也许可以打90分。不是100分，因为你不知道为什么得到无限大的计算结果有多令人讨厌。

假设我会一点几何，手边有个边长为1.5米的正方形。我想找根木头，正好可以当这个正方形的对角线。我想先计算出这根木头应该多长。就算不是这方面的专家也会知道，如果你得到的值是无限大，那真是一点用也没有，即使本来以为会是零也没有用。并不因为它们都是圆，就能解决问题。因此在绝望之下，我直接去度量它，不再计算。你看，这条对角线的长度约是2米，既不是0，也不是无限大。因此，当理论计算给我们一些很荒谬的答案时，我们必须去度量这些东西。我们会继续去寻找比较好的理论和了解，给我们一些比较接近度量值的答案。在正方形对角线的例子里，我们得到的公式是“4.5的平方根”。

如果我很诚恳地告诉你，在所谓“外行人”的信里，我很少碰到像你这样真正了解我在说什么的情形，你会不会觉得我只是很礼貌地在恭维你？

诚挚的祝福

理查德·费曼

第6部　诺贝尔奖|1965年

听到你得诺贝尔奖，我们又激动又高兴。

到了斯德哥尔摩，可别去天体营和裸体女郎鬼混！

1965年10月21日，有一封电报寄达：

皇家科学院今天决定，由阁下和朝永振一郎、施温格三人共同获得1965年的诺贝尔物理学奖。你们在量子电动力学的基础研究以及对基本粒子物理的成果有目共睹。奖金将由你们三位平分。献上诚挚的祝贺。正式的获奖通知将随后寄上。

不久之后，恭贺的信件与电报如雪片般蜂拥而至。下面这些信件是其中的精华。这些信来自费曼的同事、其他有名的科学家、长久未曾联络的朋友与熟人，以及从前的老师和朋友等。以前一位法罗克维高中的老朋友写道："我只记得你是个精瘦、聪明、喜爱音乐的小男孩，当然也相当风趣。眼睛里闪射出一丝慧黠的光芒。从你在报纸上的照片看起来，几乎是没有什么变化。"另外一封道贺的信，提起费曼上几何课的情形，老师"自己则坐在教室后排的椅子上，跷起二郎腿，看你为他上课。很奇怪，高中时期的很多事情，我都想不起来了，只有这一幕，在我脑海里记忆尤新"。

费曼致瑞典皇家科学院伦伯格（**Erik Rundberg**）教授|**1965**年**11**月**4**日

亲爱的伦伯格教授：

谢谢你的来信，证实那封对我得到诺贝尔奖的电报。当然得让你知道，这样一封电报，带给我全家、我的朋友和熟人多么大的兴奋和喜悦。得到这个奖，我觉得非常荣耀，也非常开心。

我太太和我正热切筹划到斯德哥尔摩的旅程。我们会在12月7日稍晚到达，而且很高兴受邀参加12月8日在你家举行的晚宴。非常感谢你的邀请。

我很愿意在12月11日的下午发表一场演说，就按你所建议的时间

吧。我一旦确定了演说的题目，会立刻通知你。

我们期待与你见面。

诚挚的祝福

理查德·费曼

葛林鲍姆（**Greenbaum**）夫妇致费曼|**1965**年**10**月**22**日

恭喜你的成就举世闻名。献上最衷心的祝福。

朱利斯·葛林鲍姆和罗莎莉·葛林鲍姆

※米歇尔注：朱利斯是费曼亡妻阿琳的兄弟。

费曼致葛林鲍姆夫妇|**1965**年**10**月**23**日

亲爱的罗莎莉和朱利斯：

得到这个奖令我又惊又喜。但更难得的是接到你们的消息，激起我很久以前的记忆。你们应该也记得某个人，她现在一定会很高兴的。

永远的

理查德·费曼

电报：美国总统约翰逊（**Lyndon B.Johnson**）致费曼|**1965**年**10**月**22**日

好消息永远有如良药。很高兴知道你赢得诺贝尔物理学奖。全国都以你为榜样。我个人更是以激动的心情，分享你的快乐。干得好。

约翰逊

※米歇尔注：当时约翰逊总统刚刚成功地接受了一项胆囊手术。发这封贺电的前两天，他还在电视上露出那30厘米长的刀疤给全国观众看。

费曼致约翰逊总统|**1965**年**10**月**27**日

亲爱的约翰逊总统：

得到诺贝尔物理学奖，最大的喜悦之一，是接到你的电报。我感到惊讶、荣幸与高兴。希望一直能有好消息，使你的身体早日恢复健康。

诚挚的祝福

费曼

康奈尔大学威尔森博士致费曼|**1965**年**10**月**22**日

亲爱的狄克：

听到你得了诺贝尔物理学奖，我们全实验室的人都觉得喜悦与满足。你得这个奖，可以说是实至名归，当之无愧。但我们都瞻望未来，相信你未来的工作，一定比已经做的更棒。因此，保持忙碌，继续加油。

温暖的祝福

威尔森

●中文版注：

威尔森（Robert R.Wilson，1914～2000），曾参与曼哈顿原子弹研制工程，并在康奈尔大学纽曼实验室（Newman Laboratory）从事核

物理研究。威尔森负责设计、建造了费米国家加速器实验室，并担任实验室第一任主持人（1967～1978）。

费曼致威尔森博士|**1965**年**11**月**23**日

亲爱的鲍伯：

你看你，还以为仍是我的老板，要我保持忙碌、继续加油！难道不能如我渴望的，休几天假吗？我现在都已经得诺贝尔奖了，你还要我怎样呢？

非常感谢你的来信。

诚挚的祝福

理查德·费曼

康奈尔大学贝特教授致费曼|**1965**年**10**月**21**日

亲爱的狄克：

我刚刚听到这个好消息。你的获奖可说是预料中的事。我想这件事已超过10年了。我很高兴诺贝尔奖的委员会显示出这么好的品位。

最衷心的祝福

汉斯·贝特

费曼致贝特教授|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的汉斯：

你知道我从你那儿受益有多少，因此我也得同样恭喜你。谢谢你的

来信。

由衷地祝福你

理查德·费曼

泰勒博士（美国氢弹之父）致费曼|**1965**年**10**月**27**日

亲爱的狄克：

恭喜你！你和朱利安（施温格）能够同时获得诺贝尔奖，真是太好了。虽然你们两人没有什么相似之处，但是同获这个奖可以说都是实至名归。我想你到瑞典去领奖的时候，正好可以让瑞典人看看，并不是所有的美国人都像好莱坞电影里的那个样子的。

你和瑞典国王在颁奖典礼上互动时，一定非常精彩。我希望自己有机会能亲眼看见这一幕。

由衷的祝福

爱德华·泰勒

费曼致泰勒博士|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的爱德华：

谢谢你写来的道贺信。你说很想看看我在颁奖典礼上和瑞典国王的互动，场面一定很精彩。这件事让我觉得有点不安。任何事都可能发生，但我想应该不会真的发生什么事才对。希望我能活过这一关。真高兴接到你的信。

诚挚的祝福

理查德·费曼

电报：西北大学物理系布朗（**Laurie Brown**）博士致费曼**|1965**年**10**月**21**日

亲爱的狄克：

恭贺你得到这个迟来的荣耀。长久以来，我都以能够认识你为荣，感谢你给我的一切。并且感谢你为我们这一行添加了许多刺激、乐趣和严谨。

布朗

费曼致布朗博士**|1965**年**11**月**2**日

亲爱的布朗博士：

我对所有的贺电都非常开心。但是你的最特别，对我有不同的意义。我觉得自己好像又得到另一个附加奖。非常感谢你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致乔治·华盛顿大学物理系约里（**Herbert Jehle**）博士**|1965**年**11**月**29**日

亲爱的约里博士：

感谢你寄来的贺卡。

我之所以能获奖，都是因为当年在普林斯顿大学图书馆，你叫我看狄拉克（Paul Dirac，1902～1984，创立相对论性量子力学，1933年诺

贝尔物理学奖得主）的论文。非常感谢你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

拉比（**Isidor I.Rabi**，**1898**～**1988**，**1944**年诺贝尔物理学奖得主）致费曼**|1965**年**10**月**27**日

亲爱的狄克：

听到这个好消息，我有说不出来的高兴。一方面是为你高兴，另一方面也为朱利安（施温格）高兴。他是我带出来的、货真价实得到诺贝尔奖的研究生。朝永振一郎也是个很棒的家伙。希望你们三个人在斯德哥尔摩，有非常愉快的时光。

我希望你去瑞典或回程的途中，有机会在纽约稍停一停，让我可以当面表达祝贺之意。

21年前有过同样风光的人，要给你一个良心的建议：不要让这个奖害了。你现在变成很多人的目标了，而他们存心浪费你的宝贵时间。告诉他们滚远一点。

为你喝彩，献上衷心的祝福

装腔作势的

拉比

费曼致哥伦比亚大学物理系的拉比博士**|1965**年**11**月**22**日

亲爱的拉比：

非常感谢你的祝贺和你的忠言。我非常需要别人的忠告。得知自己获奖的消息之后，脑子里一直盘旋着这句话："这不是钱的问题，这是做事的原则。"另外想到的，就是你在21年前得奖时，玩弄纸张与梳子的模样。很抱歉不管是去程或回程，我都无法在纽约停留。有位好心的教授刚写信来，劝我要善用时间，我可不想让他失望。

最真诚由衷地祝福你

理查德·费曼

匹兹堡卡内基技术学院亚斯金教授致费曼|**1965**年**10**月**29**日

亲爱的狄克：

我只是想告诉你，听到你获得诺贝尔奖的时候，这里每个人自然流露出来的那种喜悦。他们有的和你在洛斯阿拉莫斯共事过，有些人你从来没见过面，尤其是那些认真啃读你的物理学讲义的学生。大自然之美是物理学本身的奖赏，但世俗还是免不了要有形式上的荣耀。

我们都衷心祝福你和温妮丝，还有卡尔。

老亚

费曼致亚斯金教授|**1965**年**11**月**23**日

亲爱的老亚：

谢谢你来信道贺。听到你的消息令我很开心。我深信自己发表出来的那些论文，如果不是在发表前，都经过你详细的阅读、订正，诺贝尔奖委员会也不会认为那是有价值的东西。因此，你看我不但深深欠你一份相知相惜的知遇之情，而且现在能获得诺贝尔奖，你也是功不可没的。

祝福你全家人。希望我们很快能有机会碰面。

理查德·费曼

费曼致墨西哥国家核能委员会瓦拉塔|**1965**年**11**月**22**日

亲爱的瓦拉塔：

谢谢你的贺电。我应该要特别谢谢你对我获奖的贡献。我感谢你的教导和你的鼓励。还包括和我联名一起发表我的第一篇论文。

我个人对你献上最高的敬意。

诚挚的祝福

理查德·费曼

布洛赫教授致费曼|**1965**年**10**月**24**日

亲爱的狄克：

我向你和你太太，致上最诚挚的贺意。恭喜你得到诺贝尔奖。我希望能亲自到斯德哥尔摩观礼，听听你说些什么。

希望你们有一趟最愉快的旅程，诚挚地祝福你们。

好友

菲力克斯

●中文版注：

布洛赫（Felix　Bloch，1905～1983），原籍瑞士的美国固体物理

学家，斯坦福大学教授，发展出核磁精密测量的新方法（核磁共振法），1952年诺贝尔物理学奖得主。

费曼致布洛赫教授|**1965**年**11**月**22**日

亲爱的菲力克斯：

谢谢你的祝贺。我也很想知道自己在斯德哥尔摩的颁奖典礼上，究竟会说什么。如果你对这件事有任何好建议，或者告诉我见了国王之后，如何倒退着走路而不会绊倒，我都竭诚欢迎。

致上个人最深的敬意

理查德·费曼

电报：琼斯（**Donald Jones**）致费曼|**1965**年**10**月**21**日

恭喜得到诺贝尔奖。很高兴看到一位优秀的教科书作者，得到这种肯定。

琼斯，艾迪生-卫斯理出版公司，麻州

费曼致琼斯与全体职员|**1965**年**10**月**23**日

亲爱的琼斯先生与全体同事：

谢谢你们的贺电。我震惊于你们对诺贝尔奖委员会的巨大影响力，看来永远不能低估出版公司的能力。

谢谢你们。不知道是哪个天才，想到并执行这么杰出的宣传策略。

诚挚的祝福

理查德·费曼

戴理（**Tom Dailey**）致费曼|**1965**年**10**月**21**日

这贺词写在一张加州理工学院的办公室便条纸上，附在下页图的照片后面。

收件人：理查德·费曼

留言人：汤姆·戴理



戴理给费曼的贺卡：苏洛普堂（Throop Hall）的屋顶，挂着一幅布条，上面写着"Win Big, RF"，狂贺理查德·费曼获得诺贝尔物理学奖

日期：10月21日

主题：我找不到适当的卡片可以寄给你，恭喜了。

费曼致戴理|**1965**年**10**月**23**日

亲爱的汤姆：

你真的找到一张“非常应景”的贺卡。高挂在苏洛普堂上的布条，对我来说是最兴奋、最有意义的祝贺标志了，是我收到的贺卡当中最别致的。请接受我的谢意。并且感谢那些冒着生命危险，把布条高高挂在房子上头的大小朋友们。我非常感激，也非常欢喜。

诚挚的祝福

理查德·费曼

电报：阙斯特（**Sandra Chester**）致费曼**|1965**年**10**月**22**日

为诺贝尔奖委员会欢呼，他们终于知道你在邦戈鼓技艺上的非凡成就了。

珊卓拉·阙斯特

费曼致珊卓拉·阙斯特（日期不详）

亲爱的珊卓拉：

当我听说自己得到诺贝尔奖时，也非常开心。和你一样，先想到自己打邦戈鼓的技艺终于得到肯定。但后来发现原来不是这回事，我还有点懊恼呢。他们提起我15年前在某篇论文里面的东西，为了那件事给我奖，而不是因为我邦戈鼓打得好。

我知道你一定和我一样，觉得有点懊恼。

谢谢你

理查德·费曼

费曼致法罗克维高中理科老师克蓝斯（**David Kraus**）**|1965**年**10**月**23**日

亲爱的克蓝斯及全体理科老师：

谢谢你们的贺电。

没有人能够只靠自己，独立完成什么丰功伟业的。所有来自父母、老师和朋友的帮助与影响加在一起，才会成功。就我而言，我非常清楚自己今日的成就，高中那段学习过程厥功至伟。希望你对别的学生，也和对我一样，有相当的教导与启发。

诚挚的祝福

理查德·费曼

威斯康星大学物理系巴歇尔（**H.H.Barschall**）致费曼**|1965**年**10**月**21**日

亲爱的狄克：

我还是研究生的时候，有些同学对一个刚进来的新生议论纷纷。这个小子自称什么事都知道，根本不必选什么课。后来，我碰到一个棘手的问题，和几个教授都谈不出什么要领，实在没办法再继续计算下去。我决定就找这个吹牛的新生试试看。让我印象非常深刻的是，很快就得到完整的解答，令我相当开心。

但是不久之后，同学们都有些心情沮丧，产生严重的所谓瑜亮情结，怀疑自己是不是选错行了。显然在我们中间，躲了一位未来的诺贝尔奖得主。我只是奇怪，为什么斯德哥尔摩委员会的人，要花这么久的时间，才达成一致的决议。我们可是老早就心里有数了。

我很高兴听到这个好消息，并且恭喜你。你可以说实至名归。

诚挚的祝福

海恩兹·巴歇尔

费曼致巴歇尔教授|1965年11月30日

亲爱的海恩兹：

谢谢你特别写信来道贺。

你可真是守口如瓶，保密到家了。我从来不知道你们在背后偷偷议论我。现在我想生气恐怕也太晚了。而且你又在信里，说了我那么多好话。

我当然很庆幸在求学时代能够遇见你们，后来还在洛斯阿拉莫斯共事。我真是非常感谢你的来信。

理查德·费曼

费曼致麻省理工学院πλΦ兄弟会|1965年11月2日

兄弟们：

谢谢你们的贺电。兄弟会让我从一个科学小男孩变身为一个均衡成熟的男人，不但有智慧，还能跳舞（虽然并不是一样好）。

我也记得在我离开的时候，兄弟我还有70块美金放在兄弟会没花掉。我现在就把前账一笔勾销。谁叫我这些天来是如此地开心。

诚挚的祝福

理查德·费曼

电报：普林斯顿大学布里克尼（**Walter Bleakney**）致费曼|**1965**年**10**月**22**日

普林斯顿大学物理系全体师生恭贺你得到诺贝尔奖。

费曼致布里克尼博士|**1965**年**10**月**29**日

亲爱的布里克尼博士：

谢谢你代表普林斯顿物理系给我的贺电。

其实，你似乎应该要恭贺自己。是你们造就了眼前的这一切。

诚挚的祝福

理查德·费曼

斯德哥尔摩大学索德斯崇（**Lars S derstr m**）致费曼|**1965**年**10**月**27**日

亲爱的先生：

斯德哥尔摩大学理科学生联合会，诚挚地恭喜你得到诺贝尔奖。

在每年的12月13日，我们有个特别的露西亚庆典，这是瑞典传统的民俗节庆，祈求漫长的冬夜赶快过去，光明重回人间。而在这个神圣的节日里，我们按惯例邀请诺贝尔科学奖项的得主参加。

我们非常诚挚地邀请你出席这项庆典。在庆典中，我们会授以“永远微笑与跳跃的青蛙勋章”，这是骑士受勋仪式，就像以前对绝大部分的诺贝尔物理学奖与化学奖得主做过的那样。

在你抵达瑞典之后，我们会很隆重地把正式邀请函送上。希望你保留这个晚上的空当给我们，不要安排别的节目。

诚挚的祝福

索德斯崇主席

费曼致索德斯崇|1965年11月19日

亲爱的索德斯崇主席：

谢谢你的祝贺信。我非常期待成为“永远微笑与跳跃的青蛙勋章”的受勋骑士。从我得到诺贝尔物理学奖之后，就知道这件事，而且心里早有准备。

诚挚的祝福

理查德·费曼

瑞典皇家理工学院学生联合会主席朗丁（Sonny Lundin）致费曼|1965年11月13日

亲爱的先生：

我们对于你在物理科学上杰出的贡献与成就，表达由衷的贺意。

我们获知你很可能亲自到斯德哥尔摩来，从我们最高统治代表瑞典国王手中，领取诺贝尔奖。因此，我们祈求，也推测你肯依照惯例，为我们科学院发表一场演讲。

我们也非常高兴地邀请你和你随行的家人，参加12月13日的露西亚节。这个节日是瑞典独有的习俗，在外国人眼里，可能有些奇怪。节庆是非正式的，从早上7点30分开始，和物理系的教授与学生在学生联合会的场所，喝咖啡和一种为这个节庆特别调制的饮料gl gg，并且享受一场平和安详的露西亚游行。

我们知道很多学术成就非凡的人，像你这样，常常是夜猫子，喜欢睡到自然醒。因此，我们的邀请显得很突兀而且很麻烦。但我们还是非常希望当天早上能看到你。

诚挚的祝福



费曼受邀访问休斯飞机公司，受到一路铺红地毯的高规格接待

诚挚的祝福

朗丁主席

费曼致朗丁教授|**1965**年**11**月**22**日

亲爱的朗丁教授：

首先，非常感谢你的道贺信。我也谢谢你好心邀请我参加12月13日的露西亚节。

我很想肯定地答复你，但是我对几个露西亚节庆的邀请，有点被搞糊涂了。我好像得在同一天的某个时候变成青蛙，跳过来跳过去。如果时间不冲突，我很乐意起个大早。谢谢你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致加州休斯研究实验室李察森（**John M.Riehardson**）|**1965**年**11**月**1**日

亲爱的李察森博士：

天啊！上个星期我到休斯公司去，受到的盛大欢迎真是出乎我意料。没想到有那种众人热烈鼓掌迎接的场面。请替我向大家表达谢意。我当时表现出一副毫不客气、欣然接受的样子，现在想来还有点不好意思。我想，到了斯德哥尔摩以后，不管再碰到什么大场面，都吓不倒我了。还有什么会比在你们那儿切蛋糕的场景，更令我兴奋的呢？而且我不认为瑞典的蛋糕师傅，能做得出你们蛋糕上的那种糖衣。你们赠给我的贺卡真是漂亮，每个到我办公室来的人都赞美有加。

我已经狠狠读了描写诺贝尔奖的书，知道在斯德哥尔摩该做些什么了。请替我谢谢每个人。你们让我好开心。我答应这个星期三回来工

作，并对超导性发表一篇演讲。

再次感谢大家。

理查德·费曼

电报：加州哈维克飞机公司的哈维克（**Hardwick**）夫妇致费曼|**1965**年**10**月**22**日

狄克：

听到你得诺贝尔奖，我们又激动又高兴。对一个乡下孩子来说，表现真是不错。

到了斯德哥尔摩，可别去天体营和裸体女郎鬼混！

杰克·哈维克与克莉丝

费曼致哈维克|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的杰克与克莉丝：

非常感谢你们的贺电。但你们为啥要限制我在瑞典的探险呢？我在这里请求你们允许，可以不理会你们在电报里的告诫。

诚挚的祝福

理查德·费曼

普林斯顿大学帕尔默物理实验室艾因宏（**Martin B.Einhorn**）致费曼|**1965**年**10**月**22**日

亲爱的费曼先生：

记得3年前我参加了刚开始实验的“费曼物理讲座”，可说是你的第一批白老鼠。我发觉自己背负着一些奇妙的责任。现在物理系的学生几乎人手一套《费曼物理学讲义》。好像只要念过这套书，就一定能了解它的内容似的。好了！玩笑就开到这里为止。我其实非常喜欢这套书，现在我也是理论物理学的研究生了。我非常感谢能进入加州理工学院，让我有个好的开始，因为加州理工的物理课程经过了你的大幅修订。

恭喜你得到诺贝尔奖。在这个以发表论文为教授首要任务的时代，能碰到一位物理大师兼教学良师，实在是我的幸运。

诚挚的祝福

马丁·艾因宏



费曼离开休斯飞机公司时的搞怪模样

费曼致艾因宏|**1965**年**11**月**22**日

亲爱的马丁：

恭喜你从3年前的实验活了下来。

知道当年的某些学生现在还活得好好的，很令人开心。谢谢你来信祝贺。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致《加州科技》（***California Tech***）杂志|**1965**年**11**月**2**日

亲爱的先生：

在你们为了我得诺贝尔奖所推出的“号外”里，我发现了许多有待商榷的地方。我宁愿相信你们的一番好意，并不是要故意让我难堪，只是工作人员可能是生手，缺乏处理新闻的经验。

首先，你们全部采用文字的报道，连一张摆个样子的照片都没有。在这种新闻事件的处理上，这是很不可思议的事。如果诺贝尔奖委员会看到这份报道，不知道会怎么想？他们非常慎重地经过好几个月，再三斟酌所挑选出来的人，在自己学校的媒体居然只得到这种草率的对待？而且，连says（说）这个字都会拼错，弄成sez。不但表示写报道的人漫不经心，连校稿的人也不负责任。难道这是你们一贯的作风吗？

另外有两个非常明显的缺失，表示你们派来采访的人不够专业。最好笑的错误是当他们碰到我，要求进行采访的时候，居然先致歉，说了些废话：“我知道你一定还有许多更重要的事要忙！”其次，整篇报道让人觉得它虽然清楚、正确、可懂而流畅，却完全不理会新闻报道的专业要求。举个例子，报道中那些我说的话，完全看不见一个引号，好像我从头到尾没说半个字似的。

虽然有这些瑕疵，我还是要谢谢你们的努力与辛苦。

不知道你们能不能把这份报道抽印个几十份给我？这样当校外的新闻媒体来访问我，问我为什么得诺贝尔奖时，我可以把抽印本直接给他们，不必再写一次。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：此份号外的内容，请参阅《附录四》。

美国副总统韩福瑞（**Hubert H.Humphrey**）致费曼**|1965**年**11**月**12**日

亲爱的费曼博士：

容我在你巨大的荣耀上，加一点衷心的祝贺。诺贝尔奖正好配得上你在物理学的杰出成就。在人类追求知识的无止境的道路上，希望你能继续努力，有更多的傲人成就。

你为我们国家增光，也为科学界增光。我们以你为荣。

献上最深的祝福

韩福瑞

费曼致副总统韩福瑞|1965年11月22日

副总统先生：

谢谢你很亲切地祝贺我得到诺贝尔奖。你应该可以想象得到，接到你的信，我们全家人倍感荣幸，也非常兴奋。至于我，得到长久以来自己一直很尊敬的人的来信，当然有一种特别的欣喜。

诚挚的祝福

理查德·费曼

纽约布鲁克林区东区高中老师庄士顿（**Joseph E.Johnston**）致费曼**|1965**年**10**月**22**日

亲爱的理查德：

恭喜！恭喜！真可惜他们花了这么久的时间才找上你。近10年来，我就一直在想，你什么时候才会得到诺贝尔奖。虽然在这之前好几年，你已经得到爱因斯坦奖。但我总是觉得意犹未尽。不过从今天早上的报纸，可以稍微看出为什么事情会拖这么久。曾经有一段时间，我以为打邦戈鼓和玩折纸，已经使你偏离了主流的科学研究工作。但我们都知道这件事终究会成就的，果然也如大家所愿。

时光真是飞快，从你骑着自行车来到新的高中，要求我做某些实验算起，已经整整36个年头了。当时学校刚成立，很多实验设备都是新的。我常常必须小跑步，跑到磁场旁或装满水的罐子旁边，或者你在把玩的某些设备边上。因为下午3点之后，你总是在实验室流连忘返。我只要准你进实验室，就有得忙的。

一两年之后，你正式成为我们学校的学生，又可以正大光明地进入同样的实验室了，但这次玩的是化学课。你习惯一直央求我，直到我同意你进行某项实验为止。但这些实验对一个高中生来说，通常是太难了些。例如说，测量出阿伏伽德罗常数。当我们组装好相当简陋的仪器，我就让你自己去进行。一两天之后，你带着5.6×1023这个答案来给我。我觉得这件事实在很了不起，于是和你一起动手，把实验做得更精细些。几年之后，我在另一所高中担任自然科教师的召集人，又重做了那项实验，并且正式发表。我把文章的复本随信附寄给你。

有几次开会时，我们本来有机会碰面的，但是都失之交臂。一次是在纽约开的物理教师会议，另一次是我在匹兹堡的美隆学院演讲。他们问我有没有教出哪位非常杰出的学生？我提起你的名字，他们告诉我，你不久之前才在他们那儿演讲。

每当我和贝德老师在自然科教师召集人的会议上碰面时，我们总是很习惯交换一些和你有关的消息。当然，昨天晚上我们一起到镇上去庆祝了一下。韦尔达博士和巴纳斯先生已经退休了，巴纳斯先生已有85岁

高龄，现在住在隔壁州。我很少碰到他，但每次见面他总是不忘问起你，我知道他很希望有你的消息。他住在纽约州沧门斯堡国会街18号。

顺便提一下，如果你有机会到东部来，我们都想当面向你道贺。你的成就让我们觉得很欣慰。教书毕竟还是一件有意义、有价值的工作。当然我们也知道，你的成就主要是靠自己的努力和天分，谁当你的老师都只是沾光而已。

再次衷心地祝福你

庄士顿

费曼致庄士顿老师|**1965**年**11**月**24**日

亲爱的庄士顿先生：

谢谢你的祝贺。非常兴奋能得到你的消息。我当然记得以前骑着自行车到高中实验室和你做实验的事，我从你那儿学到很多东西，对我有很大的启发。我也很高兴听到韦尔达博士和巴纳斯先生的消息，还有你谈到的，以前我所做的那个电解实验。我整件事都记得很清楚，甚至包括我们想到：当电流通过水的时候，应该接一个电子钟在同一个开关上，看看经过多少时间。我一直觉得我们并没有测出阿伏伽德罗常数，只量到法拉第数。我们必须用到电子的电荷数，也就是密立根值，而这个实验正是要处理很小的物理量，这也是实验的困难所在。但我觉得，对一个高中生来说，这已经很不容易了。

得到诺贝尔奖之后，我接到很多法罗克维高中的老师与同学的来信。我已经决定明年初找一天回母校去拜访。校长已经正式邀请我了，只是确定的日期还没有敲妥。

你显然忘了，我们曾在哥伦比亚大学附近的街上碰过一次面。我们

到旁边的小杂货店里买了一杯饮料，好好地聊了一阵子。

再次谢谢你的来信，同时感谢你对我的教导。在我进法罗克维高中之前与之后，都受惠良多。

诚挚的祝福

理查德·费曼

纽约布鲁克林区杰伊高中老师贝德（**Abram Bader**）致费曼|**1965**年**10**月**30**日

亲爱的理查德：

我故意晚一点写信向你道贺。我想这样比较有机会让你看到，否则挤在一堆蜂拥而至的信件里，一不小心就给漏掉了。不管怎样，在10月的最后一星期收到这样一封道贺信，应该不算迟。

你终于得到诺贝尔奖，虽然这个奖来得晚了些，我还是非常高兴。我现在可以沾你一些光。教评会的委员知道你曾是我的学生，总是对我稍微礼遇些。我们曾是师生的这个事实，他们可是一点办法也没有。

你的教科书的第二册终于到了我的手上。你在书里提起我们以往的一段讨论，我看了心里暖洋洋的。我永远记得另外一件事，就是你向米勒老师和我征求意见，说你想修教育课程，以后好去当个高中老师。我当然相信你会是一个很棒的老师，但你的天分就完全糟蹋了。所以，我们只是对你的想法笑一笑，不置可否。

纽约长岛的日报登了一张相片，是你抱着一个英俊的小男生。我儿子今年5岁，已立志长大要得诺贝尔奖。他已经利用自己的组合玩具，做了一台时间旅行机。当这台机器没能把他送回第二次世界大战，好让

他和我一起加入皇家空军时（我当时在雷达部门工作），他还有些失望呢。

我再次向你祝贺。同时我想告诉你，并没有任何限制说一个人不能再度得诺贝乐奖。另外，有消息说你打电话给赛登先生，到底是怎么回事？我有点疑惑。

衷心祝福你和你的家人

贝德

费曼致贝德老师|**1965**年**11**月**29**日

亲爱的贝德先生：

谢谢你祝贺的信。很高兴你看到我的第二册教科书。其实我记得的，还不止有我们关于作用的讨论。我非常感谢你在物理学上对我的教导，以及指示我该努力的方向。我不记得询问你修读教育课程的事，但是我非常感谢你不但在课业上指导我，也给了我很多好的建议。

另外我还记得一件事，那对我后来非常重要。有一天下了课，你把我叫到办公室，说："你在教室太吵了。"接下来，你说你知道原因，因为课程实在太简单、太无聊了。然后你从背后的书架抽出一本书给我，说："以后上课，你就坐在教室后面看这本书。等到你把书里面的东西全部弄懂之后，才可以再讲话。"后来的物理课上，我不必再理会班上同学上了什么东西，只专心看伍兹写的《高等微积分》。我就在这时候学会了γ函数、椭圆函数和积分符号下的微分方式。后来我就十分精通这方面的技巧。

很多年之后，当我在康奈尔大学教研究生物理的数学方法时，有个学生想反对我用这么高深的数学处理方式，质问我到什么时候才学会这

些数学技巧。在他想，一定是念博士或得博士学位之后的事。我一时没有意会到他的想法，也不知道我的答案会引起他多大的心理障碍，就脱口回答："在高中的时候。"

我非常高兴在高中的时候能碰到你这样的老师。你确实知道如何引导一个孩子的心智发展，使他达到最大的成就。我致上深深的谢意。

很高兴听到你儿子的事。我的儿子才3岁半，不像你儿子，还不会自己玩组合玩具呢。因此，不管有没有效，他还不会组合自己的时间旅行机。

也许你现在已经知道，我和赛登先生说你什么事了。那和诺贝尔奖并没有什么关系，得奖名单出炉前就已经开始进行了。事情是这样的：美国物理教师学会的代表，康登（Edward U.Condon，1902～1974）先生告诉我，他们每年都推选一位优秀的物理教师来表扬。而莫里逊（Philip Morrison；1915～2005）教授看了我的教科书，认为可以推荐你角逐优秀物理教师。因为你知道怎么处理（请恕我放肆）那些异于平常的学生。



费曼抱着儿子卡尔，摄于1965年

因此，明年1月在纽约的大会上，他们会正式提名你。我希望他们最好直接和你接触。这是我找赛登先生的原因，我要打听你正确的地址。

能再度和你接触，并且发现你过得很好、很快乐，当然是一件令人非常开心的事。

衷心祝福你和你的家人。

理查德·费曼

费曼致法罗克维高中《校园谈天》编辑连伯格（Howard Lemberg）|1965年12月6日

亲爱的先生：

谢谢你祝贺我得到诺贝尔奖。

当我看到信封上的署名时，忽然想起一个很久以前经常在报纸上看到的名字，只是我几乎快要忘了。以前你曾经给我写了一封信，邀请我投稿。我非常高兴，把那封信带在身边，天天希望自己能写好文章寄给你。但我总是比自己想的更忙碌些，一直抽不出时间来回应你的邀请。但现在，有个机会来了。我已经决定明年1月的某一天，回学校拜访。那时候，我希望能有机会直接和学生座谈。如果你愿意，我可以在那个时候接受你派的人来访问，或者其他的安排。

我知道对报纸杂志来说，消息的及时性与题目的选定非常关键。因此，请原谅我没有及时回应你的邀请。我1月回到母校时，希望能做个补偿。也希望有机会和你见个面。

诚挚的祝福

理查德·费曼

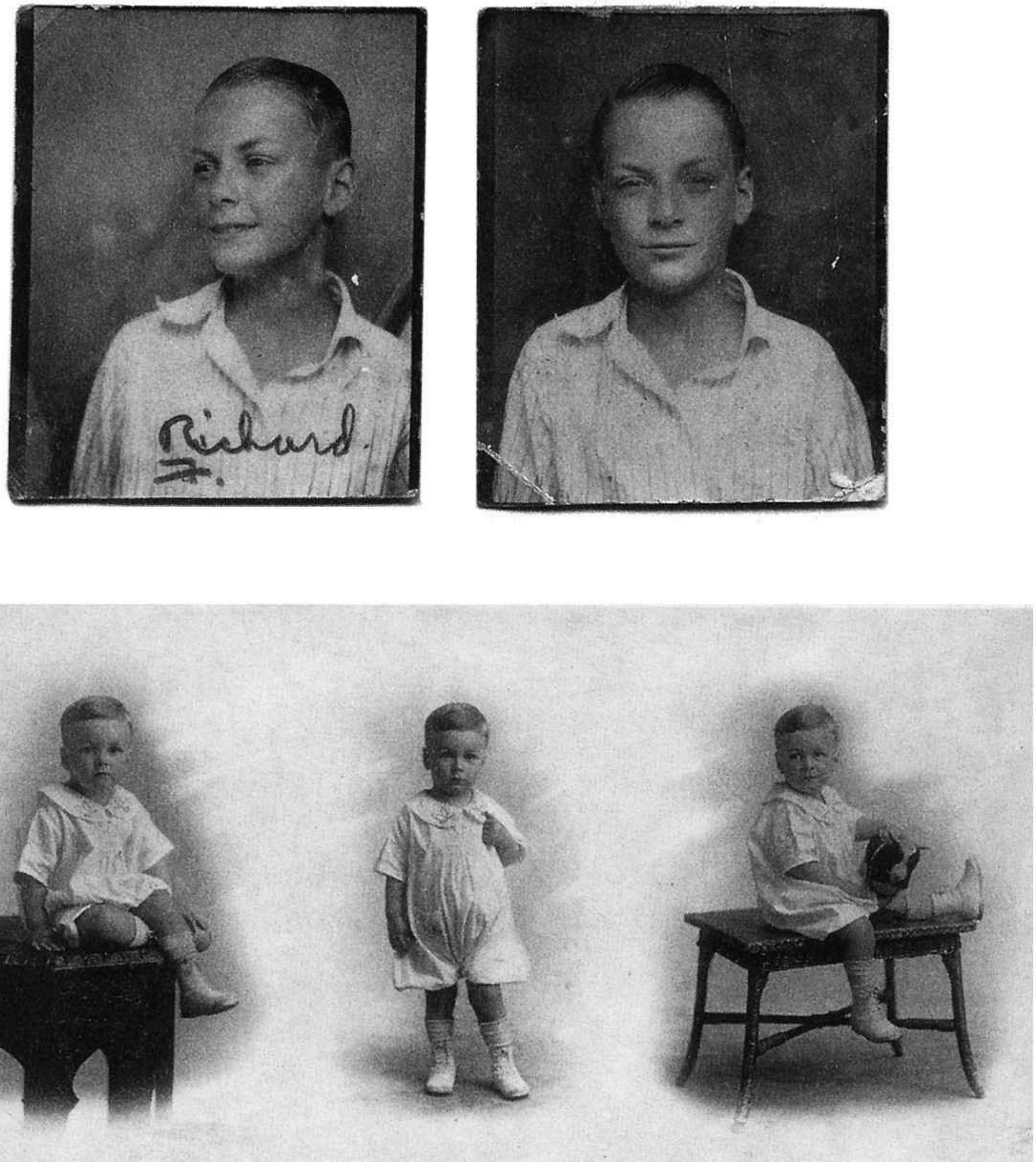
※米歇尔注：在1966年1月10日的访谈中，费曼告诉《校园谈天》的记者，当他在法罗克维高中读书的时候，“英文不好，外语科目很差，几乎不会画图，是个假道学的乖乖牌学生，也不会玩。现在完全不一样了”。

路易斯安那州杜兰大学（**Tulane University**）精神病学教授李夫（**Harold I.Lief**）致费曼|**1965**年**11**月**10**日

亲爱的狄克：

恭喜你得到诺贝尔奖。这几个星期以来，我一直在犹豫，要不要锦上添花写这封信。你都已经得到全世界推崇的最高荣耀了，再增加一点又何妨？

如果我们高中的立体几何老师奥古斯伯里先生还在世的话，一定感到非常自豪。我还记得每次上他的课时，这位老先生总是请你上台替他上课，他自己则坐在教室后排的椅子上，跷起二郎腿，看你为他上课。很奇怪，高中时期的很多事情，我都想不起来了，只有这一幕，在我脑海里记忆尤新。



费曼小时候的照片，上排摄于1928年，下排摄于1920年

你在物理界混得这么好，居然弄到一个诺贝尔奖，我实在为你高兴。你当之无愧。

由衷地祝福你

哈洛德·李夫

费曼致李夫博士|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的哈洛德：

谢谢你的祝贺。得诺贝尔奖有个最棒的附加价值，就是收到很多老朋友的消息。这些老朋友平常都无影无踪，好像从人间蒸发了似的。我记得以前上德文课的时候，有时看着德文课本却卡在那里，念不下去。这时候你就在旁边咬我耳朵，让我能顺利过关。真是多谢了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致纽约长岛莫里·贾可布斯（**Morrie Jacobs**）|**1965**年**11**月**24**日

亲爱的莫里：

我接到你的祝贺信，觉得有些失望。在信里，你没有谈到自己的近况，以及做得怎样之类的事。老朋友应该彼此知道对方究竟过得如何。我有个3岁半的小男孩和一个甜美的英国太太。（猜猜看，哪个先冒出来？）我记得你的，我们当年是非常要好的朋友。我们经常在你父亲杂货店的后院，我一边看你画招牌，一边聊些很严肃的课题。

写个信来把近况告诉我吧。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致柯汉夫人（**Bertha Cohen**）|**1965**年**11**月**15**日

亲爱的柯汉夫人：

谢谢你祝贺我得诺贝尔奖的来信。能收到老家友人的消息，是令人非常开心的事。

我想，在我还是抱在怀里的小婴孩时，你抱着我一定教了我什么，让我现在能得到诺贝尔奖。

衷心祝福你和乔安娜。

理查德·费曼

费曼致戴维森夫人（**Jesse M.Davidson**）**|1965**年**12**月**6**日

亲爱的毕阿姨：

谢谢你的贺信。得到一位看着我长大的长辈的消息，让我非常开心。你一直是家母的至交，在每个阶段都陪着她——从我做实验把桌布烧掉开始，到后来我妈妈一直担心我有天会把屋子给炸掉。

你看，那些实验的最后结果非常美妙吧！

敬爱你

费曼

费曼致迈阿密海滩区的咪咪·菲利普斯**|1965**年**11**月**15**日

最亲爱的咪咪：

非常感谢你寄来的祝贺信。知道你现在是个护士而且乐在其中，我非常高兴。

同时也谢谢你把当地报纸有关这件事的报道寄来给我。在此之前，我从来没有看过这份报纸的报道。谢谢你想得这么周到。

你说温妮丝的厨艺把我养胖了，这倒是有点误会。上次见面时我很瘦，是因为当时手边有很多事令我烦心。现在这些事全都解决了，我心一宽，体就胖了。不过，或许食物也有些功劳吧。

爱你的

理查德·费曼

费曼致菲利普斯新闻公司的阿诺德·菲利普斯（**Arnold H.Phillips**）**|1965**年**11**月**18**日

亲爱的阿诺德：

谢谢你来信祝贺。我们一定要做些有新闻价值的事，好让你们有东西可以刊登。因此，我很高兴自己对你的事业也稍微有助益。我也接到咪咪的来信了，我想你一定猜得到，她也非常兴奋，我心里一直还把她当成小女孩，哪知好久没见，她早就是亭亭玉立的大姑娘了。

可能你已经知道，我妹妹琼恩近日生了一个女儿。当我妈妈去她家住的时候，正好发布诺贝尔奖的得奖消息，于是我妈妈就迫不及待地赶回来了。她最近刚搬进一间新公寓，似乎对新环境还相当满意。

迈可的物理成绩不理想，你不必过分在意。我的英文成绩也很烂。如果当年英文成绩好一点，可能我今天就不会得到诺贝尔奖了。

不管怎样，总是要谢谢你的来信。希望我们很快能再见面。温妮丝和我一起祝福你和你们全家人。

诚挚的祝福

理查德·费曼

英格兰约克夏郡牧师约翰·霍华德（John Howard）与夫人玛约丽（Marjorie）致费曼|1965年11月16日

（霍华德牧师曾为费曼的外甥施洗）

亲爱的费曼博士和夫人：

这称呼非常正式，因为我不想太随便地称呼，让人觉得很不庄重。事实上，在我们这里，只把两位看作一般的理查德和温妮丝。希望你们不要认为我们很鲁莽，因为我们觉得你们就像艾利克、贾姬和米妮阿姨一样，好像都是一家人。

玛约丽和我想说的是：听说你得到诺贝尔奖时，我们的激动与狂喜，简直非笔墨所能形容。这真是太美妙了，而且是最高的荣耀。这里的每一个人都为你们高兴，而且分享你们拥有的快乐与喜悦。事实上，我是从收音机听到这个消息的，但我就是不敢相信，一再地提醒自己："不！这是不可能的，但名字还真像。"不过这也不能完全怪我，因为收音机里的消息根本就把你的名字拼错了，念成"樊曼"。但是米妮阿姨说，就是你没错。你的名字在美语里的发音，就是那个调调。

得诺贝尔奖在你的生命里是一件美妙的大事，我们都衷心祝福你，也希望你们在瑞典的时候，有一段美妙的时光。我不知道你们过境的时候，大家有没有机会见见面？我想你这次大概不会专程到英国来吧？

我们在《无线电时代》杂志上，看到你的书的广告。希望它对外行人来说不至于太难，因为我准备在圣诞节的假期里买一本来看看。这些工作真的都非常、非常的重要。那些已经发生或即将发生的事情，将会使世界为之震动。我相信到了1980年，我们的生活将会大为改观。我怀疑届时，我们可能已经利用海水淡化的方式从海洋取水，也在需要树木

的地方完全绿化，或许还能在沙漠里种植农作物。那我们凭着现有的知识与技术，能适应那时候的生活吗？现在听说已经有一种石化产品，可以洒在沙漠上，允许水分进入土壤，却不会让太阳把水分从土壤里蒸发出来。

但是在处理这些科技或干旱问题时，我们还是得面对人，因此也必须处理人与人之间的问题，例如肤色歧视、民族主义。这些问题当中最难解决的，还是它们的本质，也就是物质崇拜和自私自利。但是我深信，我们经得起挑战，一个崭新的世界即将诞生。问题是，我们的意愿何在。因为一般人的目标和动机都是相当微小的，经常只在自己和家人的身上打转。但我相信你们美国人比我们更有世界观，眼光与志向都更远大。而且事实上，美国人也表现出更慷慨、宽厚的胸襟。

当然，我了解有些人对美国人的看法，和我相去甚远。其实别人对我们英国人的看法，何尝不也是如此？

我知道不管你在哪里，你的自然、关怀和单纯，都会给很多人带来希望与信心。因此，非常感谢你的努力。献上我们的爱和祝福，愿上帝保佑你。

诚挚的祝福

约翰与玛约丽

费曼致约克夏郡雷邦登（Ripponden）镇的牧师霍华德夫妇|1965年12月6日

亲爱的玛约丽和约翰：

我希望你们还是把我们当成平常的温妮丝和理查德看待，这样不拘小节比较自在。

接到你们这封写得这么好的贺信，让我非常开心。雷邦登镇的人对我实在太好了，让我觉得自己根本就是你们之中的一份子。而我妻子也来自雷邦登镇，我是个不折不扣的雷邦登女婿。因此，来自雷邦登镇的只字片言、一举一动，都令我欣喜不已。虽然我们只有数面之缘，但你是我在雷邦登镇的友人之一。

你说真正的美国人具有慷慨、宽厚的心胸，这正足以显示你自己具有一颗慷慨、宽容的心。你当然知道，在一个崇尚自由思想的大国家里，就像英国，人民的思想是非常复杂的，可说是百花齐放，因而伟大和渺小并列，慷慨与自私共存。每个人都可以有不同的想法，而且就算是同一个人，想法也是经常在改变的。

看别人宽宏大量，首先自己要有同样程度的宽宏心胸，才不会看到别人小气吝啬的一面。同样的，如果自己心胸狭小，就只会看到别人的小家子气，而看不到另一面了。

很遗憾我去斯德哥尔摩的途中，没办法去英国绕一下，但我一定会找时间，很快再回雷邦登去的。至少要让你们看看我儿子卡尔长得怎么样。因此，我们还有别的机会可以聊聊。

诚挚的祝福

理查德·费曼

葛门女士致费曼|**1965**年**10**月**27**日

亲爱的狄克：

你的神秘魅力（这是直接引述自你写的信），似乎又再次把你推出象牙塔之外。

我知道你很讨厌“人尽皆知”这种盛名之累，因而我对你现在的处境甚为同情。看起来，那些挑选诺贝尔奖得主的人士，似乎不太在意科学家的隐私权，不知道有人是不愿意过度曝光的。

这是你为思想所付出的代价，尤其像你这种有大异于常人的思想。

尽管有很多相反的事例，但是我手里握有证据，证明你的想法其实和“搞笑诺贝尔奖”（Ig Nobel prize）得主相去不远。

证据是今年1月4日你写给我的信，年份却标着1964年……让我整个1月份都仿佛年轻了1岁。我花了好久的时间，才承认自己又老了1岁。

恭喜你。现在，再想办法躲回象牙塔去吧。

好友

贝特西·葛门

费曼致葛门女士|**1965**年**11**月**23**日

亲爱的贝特西：

非常感谢你来信道贺。让人推出象牙塔是很不舒服的事情。外面的光线太刺眼，令我很不自在。而且最糟糕的事，还是我必须穿着燕尾服，在一大堆电视摄影机前面，从瑞典国王手中接受这个奖。如果他们能够不声不响地，悄悄把这个奖送给我，不是很好吗？这么大张旗鼓地颁奖，实在要不得。

谢谢你的来信，很高兴有你的消息。

好友

费曼

佩堤特（**Richard D.Pettit**）致费曼|**1965**年**10**月**25**日

（佩堤特博士是替费曼的儿子卡尔接生的妇产科医师）

亲爱的朋友：

听说费曼博士得到诺贝尔物理学奖，恭喜你。这是很了不起的成就，我为你感到高兴。

另外我要特别称赞你，面对媒体时表现出的谦逊态度。我觉得这才是得到这个奖应有的科学态度，因此愈觉得你的可贵。

深深的祝福

佩堤特

费曼致佩堤特医师|**1965**年**11**月**15**日

亲爱的佩堤特医师：

谢谢你来信道贺，我觉得非常荣幸。

我很惊讶你在信里，评论我面对媒体的态度，却反而没有提到我儿子，说他长相可爱、脑筋聪明之类的。卡尔是你接生的，你是否太谦虚了？

诚挚的祝福

理查德·费曼

李伯曼（**Jack Liberman**）致费曼|**1965**年**10**月**31**日

亲爱的狄克：

希望经过了这么多年之后，我还可以这样称呼你。

首先，恭喜你得到今年度的诺贝尔物理学奖。我在此表达衷心的祝贺。

在进一步谈下去之前，首先容许我做个自我介绍。当你在麻省理工学院念四年级的时候，我刚好是大一新生，是ΦB△兄弟会的成员。我怀疑你是不是记得我。当时，你已经非常出众了，不管走到哪里都会被人认出来。而我一直记得几个场景：有个周末，兄弟会办了一场舞会什么的，我有个舞伴，是纽约来的女朋友，你却没有。后来休息的时候，我们溜上二楼的会议室，想找个安静的地方坐一坐，却发现你在里面。你和我们谈了一会儿，就要我们别管你，就当你不在场，随意自在。你说你只是想看一些有趣的东西。我们也就不管你，自己小声谈我们的事了。

我还记得你有个周末，跑去和聋哑人士打交道，要学习他们怎么使用手语。我也记得有一次用餐的时候，我们讨论到青蛙腿或虾子的味道，说它们和鸡肉的味道非常接近。

我知道自己对你有一种英雄式的崇拜。从那时起，我就开始追随你的脚步和经历，带着喜悦与兴趣。

现在我住在麻州夏隆地区，在夏隆高中教物理与化学。我们的课是依照爱克西特学院的学程所规划的两年课程。我在高等物理课里使用你写的《费曼物理学讲义》第一册当教科书，这对学生很有挑战性。

我在1943年结婚，大儿子已经20岁了，还有一对16岁的双胞胎女儿。我们住过波士顿、新罕布什尔、佛罗里达。

我写这封信，只是想表达贺意，希望你继续成功。让我们这些多年前认识你的人，也沾光、分享你的喜悦。

杰克·李伯曼

费曼致李伯曼|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的杰克：

谢谢你写来的道贺信。但是有一点你搞错了。老弟，我脑筋好得很，我记得你。很高兴你把近况告诉我。老天，什么英雄崇拜？你大概是怕被高年级学长修理吧。在那种情况下，任何正常人都会觉得三个人太过拥挤，一定请我趁早滚出去的。请接受我这迟来的郑重道歉。我当时大概是神经短路了，很近似社交白痴。

你在信里提到，青蛙腿吃起来的味道很像鸡肉，这档子事的确像是我的风格，因为我从来没有吃过青蛙腿，很可能会这样乱侃。我似乎常常这样，尽是侃些自己不知道的事。当时我不管知不知道，对什么事都很有意见。

我结婚了，现在只有一个3岁半的儿子。如果你有机会路过我这附近，请通知我一下，我们可以碰碰面，聊聊往事。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致戴维斯（**Herman F.Davis**）博士夫妇|**1965**年**11**月**29**日

亲爱的戴维斯博士与夫人：

谢谢你们的贺电。从一个你可以隔街呼喊的邻居那里，得到一封电

报，是很有趣的事。本来我可以大声喊回去的。但我如法炮制，坐下来写封回信给你们，相信你们一定不会介意的。“谢——谢——啦！”听到了吗？

诚挚的祝福

理查德·费曼

佐治亚州摩豪斯学院（**Morehouse College**）数学系主任法利（**Alan Farley**）致费曼**|1965**年**10**月**29**日

信中提到的“物理X讲座”是费曼在加州理工学院开的，没有学分、非正式的讲座。任何一位学生，不论是不是加州理工学院的，都可以参加，询问任何物理问题。但是其他教职员则不可以参加。费曼喜欢任何物理问题，不管是不是自己的专长。

亲爱的费曼教授：

我确定你一定不记得我，我是你“物理X讲座”的原始学员。那是从某顿晚餐后，在布雷克院（Blacker House）开始举行的物理讨论会。我可以代表当年参加讲座的学员，还有加州理工学院所有曾经进来旁听的学生，恭喜你得到诺贝尔奖。我们觉得它来得稍迟了些。多年以来，我们就一直期待这一天的到来。

在此深深祝福你

法利

费曼致法利博士**|1965**年**11**月**29**日

亲爱的法利博士：

谢谢你的道贺信。看起来我那个物理X讲座办得不太成功，要不然你怎么会停在数学系主任的位置上。不管怎样，我们总得试试看才会知道。

诚挚的祝福

理查德·费曼

卫斯理（**Edwin J.Wesely**）致费曼**|1965**年**10**月**22**日

亲爱的狄克：

我的家人和我，随同数以百万计的人，为你得到诺贝尔奖而欢呼。我自己并没有立场来判断这件事有多了不起，但从你们物理界同行喧闹的程度，可以看出它好像不同凡响。而由你的徒弟们口中，大家似乎都觉得它有些迟到呢。

听说当年你在特鲁莱德院（Telluride House），把档案柜当作邦戈鼓来敲时，曾经夸下豪语，要拿诺贝尔奖金来开发一种改良式的档案柜邦戈鼓。这是真的吗？

另外，你还记不记得，有次我们两人共同约了一对巴西的双胞胎姊妹出来玩？我不确定是不是向你报告过，我和其中一位结了婚，现在有两个女儿，一个10岁，一个8岁。

再次对你的伟大成就表达贺意。

在此深深献上我的敬佩与祝福。

老友

爱迪·卫斯理

纽约市温氏联合法律事务所

费曼致卫斯理|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的爱迪：

得到这个奖的最大乐趣之一是，一些销声匿迹多年的老朋友纷纷出现了。接到你的消息我非常开心，而且隐隐约约记得你和巴西双胞胎姊妹之一结婚了。另一位也嫁人了吗？噢！该死，我几乎忘了自己是个有家室的男人了，还有个3岁半的儿子呢。

我今天之所以得奖，完全归功于我在特鲁莱德院里所做的研究。因此，我格外怀念那段日子。

非常感谢你的来信。

诚挚的祝福

理查德·费曼

俄亥俄州奥伯林学院（**Oberlin College**）物理系主任安德生（**David L.Anderson**）致费曼|**1965**年**11**月**8**日

亲爱的费曼教授：

今年9月初，我把你的名字提送给奥伯林委员会，看看有没有机会请你来演讲。

由于审查作业缓慢，据我了解，校长卡尔最近才准备写信邀请你。但是由于最近发生的好事，你可能需要请一位秘书，替你婉拒各方演讲的邀约。不过我还是必须把校长的意思转达给你，希望你在未来某个星期四，来为我们物理系讲一场。这年头，口齿清晰的物理学家不太容易

找得到。

你或许还记得，我在洛斯阿拉莫斯时，和你一起住过T 101宿舍。我们也曾在纳瓦荷的印第安保留区，旅游过一星期。当然，或许你记不得了。

总之，我为你那个应得的奖而祝贺。我现在才写信道贺，大概是贺客榜上的第13795名了吧？

深深祝福你

安德生

费曼致安德生教授|**1965**年**11**月**22**日

亲爱的安德生博士：

很抱歉，给你猜对了。由于最近发生的事情，害我忙得一塌糊涂，实在无法接受你们的邀请，到奥伯林去演讲。拜托你把这个消息，婉转告诉你们校长。

我当然记得你，还记得蛮清楚的。也记得我们一起到纳瓦荷印第安保留区旅行的事。我还留着当时拍的照片，时常拿出来翻一翻呢。这个夏天，我带着太太和孩子，到遗迹谷一带的乡间去玩。那里有相当的改变了，我想你也可以猜得到这种结果。但是纳瓦荷本身的情况似乎还保存得不错。当然，住在那里的印第安人已经有汽车，家里也有冰箱了。他们的小孩也和城市的孩子一样，玩各种金属制的玩具。马也少多了。

非常感谢你的来信。很高兴能听到你的消息。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致贝克曼（**Arno1d O.Beckman**）|**1965**年**12**月**6**日

贝克曼是加州理工学院信托基金管理委员会的主席。委员会决议

提供一笔奖金给费曼，作为真正的祝贺与奖励，“奖励他持续在理论物理最尖端领域内的努力，多年以来，一直是最有生产力的老师之一”。

亲爱的贝克曼先生：

请转达我对基金管理委员会的谢忱。他们决议对我奖励，实在太抬举我了，让我受宠若惊。你们实在高估我对加州理工学院的贡献了。但我以后会全力以赴，尽量不让各位失望。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致鲁道克（**Albert Ruddock**）|**1965**年**11**月**23**日

电视上看到费曼之后，鲁道克写信来，说：“我太太和我认为，如果哪一天你对科学工作感到厌倦了，可以转到演艺圈发展。”

亲爱的鲁道克先生：

谢谢你亲切的道贺信。很高兴知道我原来还有一些演艺方面的才干。如果哪天我被加州理工学院炒鱿鱼了，一定会去电视界谋职。

我很抱歉没回你的上一封信。我预设好的、可自动回答各方贺函的机器，并没有太大的弹性。一旦有超出设定范围的贺函，电脑就无法回

答了。在这个电脑时代，我们都深受类似的情况之苦。

诚挚的祝福

理查德·费曼

拉法提（**Max Rafferty**）致费曼|**1965**年**11**月**22**日

亲爱的费曼博士：

加州教育委员会1965年11月12日在洛杉矶开会，作出下列决议：

“自1963年3月14日起，加州教育委员会便委请加州理工学院费曼教授，担任课程审议委员会的委员。费曼教授担任审议委员期间，花费一年以上的心力，主导决定中小学数学课的教材。”

“费曼教授荣获诺贝尔物理学奖。因此，委员会一致决议，祝贺费曼教授的伟大成就，并感谢他对加州的无私贡献。他为加州未来的主人翁，义务奉献了许多宝贵的时间。而他本可利用这些时间，发挥更伟大的创造力的。现在，他的这些努力，使得未来的公民有更合适的教材可以学习，将来，受嘉惠的加州子弟或许因而能有更大的突破。”

诚恳的祝福

拉法提

费曼致拉法提|**1965**年**11**月**29**日

亲爱的拉法提博士：

对于教育委员会的决议，我非常感激。请将我的谢意转达给所有的委员。

有件事一直让我觉得很不舒服的是，每当有科学教科书正在进行评选的时候，我总觉得自己必须断绝和所有委员和教科书商的联系。另外我觉得有些讽刺的是，我自己只为加州的小朋友服务了一年，就让各位这样大张旗鼓地表扬。而那些为我们的儿童服务了很多年的老师，却反而默默无闻。这实在令我汗颜。

很可惜我不能亲自向每个委员一一表达我的谢意。期盼短时间内，我能有机会列席委员会，与你们每一位认识并致意。

这份决议让我既惊讶又开心，而且觉得很光荣。再次谢谢各位。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致印度的彭特（**Madan Mohan Pant**）先生|**1965**年**11**月**24**日

彭特先生最近读到费曼写的《费曼物理学讲义》第三册，来信表示，他非常欣赏费曼直截了当的说明方式。他开始自认为是费曼的“函授”学生。他告诉费曼，当他听说费曼摘取了诺贝尔的桂冠时，高兴得手舞足蹈。他也担心费曼在第三册书里结语的第一行，说自己不想再继续教普通物理了。他想知道费曼现在在干吗。

亲爱的“函授学生”：

非常感谢你写来的亲切的道贺信。知道自己做的某件事，连远在半个地球之外的印度，都有学生受到鼓舞，实在非常开心。

感谢你关心我的工作。其实我目前的工作状况并不理想。我现在脑筋不太灵光，不像以前很轻松地就能想出一些好点子。因此，问题可能必须留给像你这样的年轻人去解决了。至于我目前的研究，是想了解那

些强相互作用的粒子，例如质子、中子和介子。我认为我们现在已经有足够的实验数据了，聪明人应该能够猜出那些和它们有关的定律了。

我再度谢谢你，写了那么一封亲切的信来恭维我。我擅自决定寄一份简短的履历给你，另外还有一张我亲笔签名的照片。祝你在人生和学习的过程中，都非常顺利、成功。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致比利时布鲁塞尔皇室书记官佩霖克（**P.Paelinck**）教授|**1965**年**11**月**24**日

亲爱的佩霖克教授：

谢谢你写信来道贺。还记得我参加索尔维会议，和你谈得非常愉快。尤其那天受邀到府上参观，并且和你家人见面，是我最快乐的一天。

或许经过这么久的时间，可以告诉你一件蛮有趣的事，而不会令你觉得很尴尬。上次当我回到美国之后，和太太谈起你和你家人，以及受到你们热烈的招待。我们就决定寄赠一些书给你和孩子们。因此，我们特别去买了一堆书，大部分是给小孩看的，一些猫猫狗狗和其他孩子气的东西，把它们寄去给你——皇后的秘书。不久之后，我们接到一封皇后的谢函，说感谢我们寄给她的书。我在猜，她一定认为我是个神经有问题的书呆子科学家，怎么会寄些猫猫狗狗的儿童书给她？但我找不到什么方式告诉她，其实是有人弄错了。只好哑巴吃黄连，就当作什么事都没发生。

真希望哪天有机会能再和你们见面。

诚挚的祝福

理查德·费曼

强生（Jon A.Johnson）致费曼|1965年10月21日

亲爱的费曼教授：

虽然我去年的物理课被你当掉了，但我还是很喜欢你，因此特别用你的姓名为我的猫咪命名。现在，我的猫咪具有两个名人的荣宠：它既是“游理”的儿子，自己则是“费曼”，小名“理查德”。

谢谢你让我的暹罗猫增光不少。

恭喜你！

强生

●中文版注：

游理（Harold Clayton Urey，1893～1981）是美国化学家，发现重氢同位素，1934年诺贝尔化学奖得主。

费曼致强生|1965年12月14日

亲爱的强生先生：

非常谢谢你来信道贺。

诺贝尔奖经常会让人有盛名之累。我自己也有一只猫咪是用了我的名字。谢谢你的这种别出心裁而且很微妙的恭维方式。

诚挚的祝福

理查德·费曼

史培利（**Roger W.Sperry**，**1913**～**1994**）致费曼|**1965**年**11**月下旬

史培利教授是费曼在加州理工学院的同事，由于揭开了人类两个大脑半球的秘密，1981年得到诺贝尔生理医学奖。

嗨，狄克：

我不想跟大家一窝蜂似的凑热闹。等到盈门的贺客稍稍变得稀落些，才对你表达我们心中的欣喜与祝贺。

特别要提的是，你既然已经得到物理界的最高荣耀，我们不免期盼，你或许会有意愿转到生物心理学来发展？

祝福你

罗杰·史培利

费曼致史培利教授|**1965**年**11**月**30**日

亲爱的罗杰：

我终于等到你的贺信，才有机会回嘴。放聪明些，我怎么会跑去搞什么生物心理学。我既然已经得了诺贝尔奖，当然就该放轻松些，好好享受生活，不要再陷入科学的迷魂阵去。现在，我会有时间关心所有自然科学与人文学科的行政管理事务，还有大一新生该怎么约会才好。

好友

费曼

威廉斯（**Bob Williams**）致费曼|**1965**年**10**月**21**日

亲爱的狄克：

今天的新闻颇令人欣慰，懂得鉴赏费曼的人频频露脸了，还真是不虞匮乏。（如果我没弄错的话，这些鉴赏家正是由费某人自己领衔露脸的。）我总是觉得，我握有一些可靠的内幕资料，可以证明这家伙其实一直走在最正确的轨道上，只是大家摸不透而已。很高兴看到现实世界总算跟上他、逮住他了。

恭喜了，我倒是很想看看再过20年，会有什么好戏。

好友

鲍伯·威廉斯

费曼致威廉斯|**1965**年**11**月**29**日

亲爱的鲍伯：

得到你的消息和祝贺，真好。你猜得没错，带头大哥便是费某人。很高兴，我可以常常把后头的名单拿出来瞧瞧。我可不是孤零零的，独自一人在那儿。

这儿一切顺利，希望你们那边也一样。再次感谢你的来信。

诚挚的祝福

理查德·费曼


在诺贝尔奖晚宴上，费曼与温妮丝随音乐起舞

费曼致真野光一（**Koichi Mano**）**|1966**年**2**月**3**日

真野是费曼从前的学生，也曾经是朝永振一郎的学生。他写信来道贺。费曼回了信，问他近况如何。他回信说：“正在研究同调理论应用于电磁波在扰动的大气中的传播……是一个很卑微、末节的题目。”

亲爱的光一：

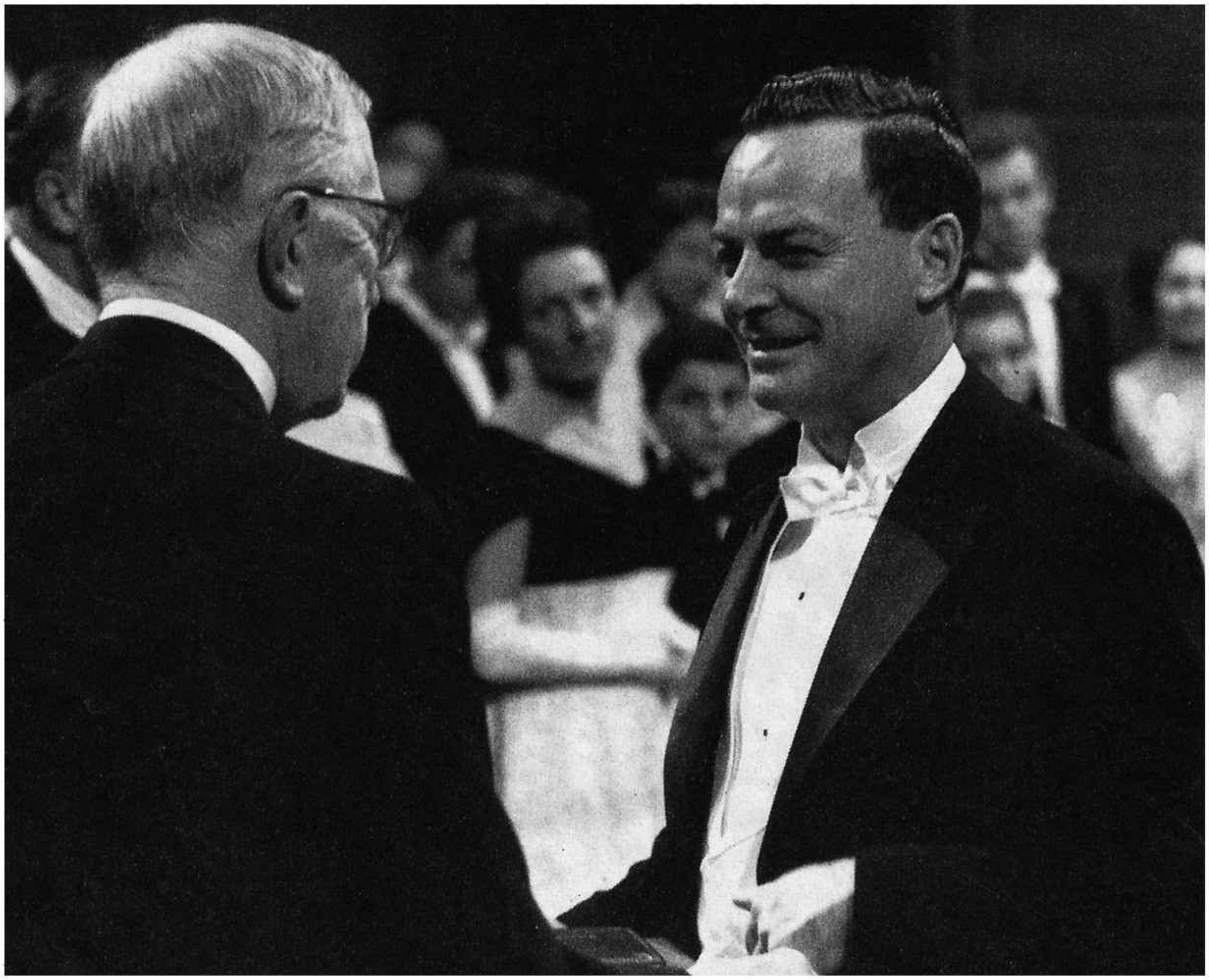
我非常高兴知道你的消息。也知道你在一家研究实验室里有个适当的职位。

不过你信中的语句看起来很哀伤，这令我有点忧心。好像你的老师

给了你一个没有什么意思的想法，不太值得花很大的力气去研究。其实一个问题有没有价值，并不在于问题本身的大小，而是看你是不是能真正解决它，或有助于解决它。这样，你的辛苦就有真正的贡献，不是白费的。

在科学界，只要是出现在我们面前而还没有解决的问题，我们却有办法向答案推进一点，这就是伟大的问题。我倒是想建议你，先找一些更简单的，或者如你说的，更卑微的问题，让你可以轻易解决掉。不管问题多么平凡都没关系，你会尝到成功的喜悦。而且要经常协助同事，就算回答那些能力不如你的人所提的问题，都是值得做的，都会累积自己的成就感。不要因为“什么问题没意思、什么问题才有价值”这种错误想法，而一直闷闷不乐，剥夺了自己对成功的喜悦。

我们相遇的时候，正是我生涯上的巅峰期。因此在你眼中，我对问题的解决能力，简直像神一样，好像什么都难不倒。但是我当时还带另外一位博士生希布斯（Albert R.Hibbs），他的博士论文只是研究风如何把海水吹出浪花。我接受他是因为他带着自己想解决的问题，跑来找我指导。我对你犯了一个错误，就是我指定了一个题目给你，而不是你自己找的题目。这让你误解了题目的意义，认为有些问题是有趣的、令人欣喜的或重要而值得的——也就是，你认为有些问题值得你花工夫去解决，有些则不然。



1965年12月10日，费曼从瑞典国王古斯塔夫六世手中领取诺贝尔奖

真抱歉，请原谅我的疏忽。希望这封信能稍微有点补救效果。

我自己研究过无数的问题，有很多都是你说的那种卑微的、末节的问题。但是我觉得很开心，而且做得很卖力。因为我有的时候会得到部分成果。我举一堆例子：

我研究过高度抛光表面的摩擦因数，想知道摩擦力是怎么运作的（结果失败了）；也研究过晶体的弹性与原子之间的作用力有怎样的关系；怎么把金属电镀到塑胶物体上（如门把）；中子如何扩散出铀原子；电磁波如何从玻璃的薄镀膜反射；爆炸的时候，震波是怎么形成

的。我也设计过中子计数器；计算轻原子核的能阶；探讨为何某些元素会捕获L层的电子，却不会捕捉K层电子。我还研究了如何把纸折成某几种儿童玩具（用纸条折成的外形可变化的多边形）的一般理论；湍流理论（我在这上面花了好几年工夫，可惜没有结果）；当然还有量子理论的那些“比较伟大的”问题。

你说自己是个无足轻重的小人物。但我要说，你对你太太和孩子而言，可不是小人物。如果你的同事带着问题来，得到满意的答案回去，那你也不是小人物。你对我当然也不是小人物。不要妄自菲薄，认为自己是个无名氏，这样就太令人伤感了。知道自己在这个世上的定位，努力扮演好自己的角色。不要用自己年轻时的幼稚想法来论断自己，也不要用别人的眼光和想法来评论自己。

祝你好运而愉快。

诚挚的祝福

理查德·费曼

第7部　科学教育|1966～1969年

科学并不比别的学科重要，不应该凌驾一切。

好东西太多，也会让人消化不良而倒胃口。

虽然得诺贝尔奖使得费曼名满天下，但由下面这些信件看来，这种光彩的背后其实满布陷阱。世界各地，从瑞士到澳大利亚，从印度到匈牙利，都有人写信来问东问西，要这要那的。他开始必须拒绝很多对他的时间或专业的请求。

但其中有个值得一提的例外，就是他持续为加州的课程审议委员会奉献心力。其实他在1964年就已经正式辞去这项职务了。1966年4月，他还写了一封很长的备忘录给一位课程委员会的委员怀特豪斯（Whitehouse）女士，谈到几家出版公司所编写的自然科学教科书。这些都是小学课本。在他的评语里最常出现的主题，也是他一生中经常强调的：

很多人都觉得，科学只是熟练地套一堆公式，以得到标准答案。老师问“什么使它运动”，很多小朋友立刻举手，抢着要回答。他们已经学过了，会说“能量使它运动”、“重力使它落下”或“摩擦力使鞋底磨损”。但这些回答都只是文字和名词而已，并没有真正说明什么。它就像下面这个说法一样，“因为神的旨意”，而没有再进一步解释。

由这封备忘录和他选择要回复的那些信看来，在这段期间，他最开心的事是物理和科学的教育问题。有一次他在信里，谈到和我哥哥卡尔一起跟着某一本审查中的物理课本做实验的情形。我读到这一段，觉得非常窝心。当时我哥哥才3岁半。这是他们两人后来有非常紧密的关系以及智力分享的开端。

1967年，费曼得到第一项荣誉学位的提议，是芝加哥大学要颁授的。但他婉拒了。后来其他荣誉学位的提议，他也都没有接受。

1968年，父亲领养了我。

印度拉加斯坦大学物理系辛格（**Virendra K.Singh**）致费曼|**1965**年**10**

月**17**日

亲爱的费曼先生：

很久以前，我就开始研读你写的书，现在已经看完了。我衷心地祝贺你的伟大成就，这本书实在写得太好了，可说是物理教科书的里程碑。我实在找不出适当的语词来形容它。用最简单的方式把最难的理论说清楚，是一件很艰巨的任务，并不是每个人都办得到的。我已经向物理系主任推荐这些书，建议每个学生都应该熟读。就像熟读我们印度的圣书《罗摩衍那》（*Ramayan*a）一样。

你的书深深感动了我，请让我知道你学术方面的成就。事实上，我认为你是我理想的“精神导师”，因此请你寄一张签了名的放大照片给我。我要把它挂在系上。

希望你能回信。请务必把相片寄来。

谢谢你

辛格

费曼致辛格**|1965**年**11**月**23**日

亲爱的辛格博士：

谢谢你的好意和谄媚。附上一张签了名的相片给你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

辛格致费曼**|1966**年**2**月**7**日

我尊敬的费曼博士：

你误解了我对你深深的敬意和内心的信任，让我心痛。你或许是不经意地误用“谄媚”这个字眼。可能是我的错，因为在上一封信里，我并没有表明自己也曾是个学物理的学生。我之所以没有明说，是害怕你可能不会寄相片给我。请留意！对一个实至名归的人诚心诚意献上赞美，虽然是出自陌生人口中，也绝对不是什么“谄媚”的。每个人表达事情或感受的技巧可能是不同的，我的心意却是既单纯又直接的。

我知道，一个人不该心存非分之想，写那样一封信给著名的教授，也不能怪你有那种想法与反应。

请相信，我把你寄来的相片，挂在办公室的墙上。

谢谢你，辛格。

附笔：你可以不必回信。像你这么忙的人，我不应该占你太多时间的。

费曼致辛格|**1966**年**2**月**14**日

亲爱的辛格博士：

我非常抱歉，由于自己用词遣字的疏忽而伤害到你的感情。我随便惯了，绝对没有任何暗指你的来信没有诚意的意思。我写“谄媚”确实是不恰当。这个字的确有负面的含义，但我真的没有那个意思。

如果你很了解我，会知道我是个粗线条的人。对于所有恭维和赞美的话，全依字面上的意思照单全收，完全不会去注意别人是否诚心诚意或别有用心。

你把我的书比喻成《罗摩衍那》，我心里真的非常开心，可以说喜

不自胜。

我希望自己在这封信里，没有再犯和上一封信同样的错误。希望你不会因为和我通信，而有不愉快或不舒服的感觉。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致萨芭朵丝（**J.M.Szabados**）**|1965**年**11**月**30**日

亲爱的萨芭朵丝小姐：

谢谢你写信来称赞我的演说。我很高兴你喜欢我的演讲，更感谢你肯花时间，特别写信来告诉我。你说，你研究物理但凭兴趣，从未受过专业学术训练。在我看起来，你还是有一些成功的机会，但必须拼命努力才行。哪个题材吸引你，你就尽可能以原创的、最不墨守成规的方式，努力钻研。

祝你幸运、成功。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致科罗拉多大学天体物理实验室康登（**E.U.Condon**）博士**|1965**年**12**月**6**日

亲爱的康登：

我很难下笔写表扬贝德的东西，因为我自己牵涉在其中，写起来好像在自我表扬一样。我尽了力，只能写出下列这些叙述：

“贝德先生以指导特殊学生的卓越技巧而受到提名。通常，老师碰上特别杰出的学生，总是放手让他们自由发展。但是当贝德发现费曼（就是今年诺贝尔物理学奖的共同得主之一）在他班上时，他给这个孩子更大的挑战、好的建议以及物理方面迷人的新资讯。他准许这个学生不必听课，还从自己的书架上找了一本高等微积分给他，鼓励他利用上物理课的时间仔细研读。他对这个学生解释物理定律里的最小作用量原理（principle of least action），以后成为费曼所有研究工作的中心思想。最后，这个学生由于敬爱且钦佩这位好老师，决定成为一个教师和科学家；贝德也提供了良好而适当的建议。”

结尾的地方，是很微妙的幽默。他花了很大的功夫，才说服我当个科学家，不要去做教书匠。我或许愿意把这段陈述改写得更完整而清楚些。而且既然是要表扬优良教师，当然不能鼓励学生不要当老师，因此可以把幽默的结尾去掉。我相信你的判断。请照你的意思更改文字和叙述。

诚挚的祝福

理查德·费曼

罗杰斯（**Raymond R.Rogers**）致费曼|**1965**年**12**月**17**日

亲爱的先生：

我今天晚上看电视，发现你在电视上和KNXT电视台的时事评论人高谈阔论，非常惊讶于你对某些事物的极端无知，以及你对于所学与成就的沾沾自喜。你在谈话里还用到“你们这些家伙”这种字眼，令我很不舒服。

你对都市烟雾问题的意见，正好显示出你完全是外行。你说还有很多问题比空气里的烟雾更重要。一个文明眼看就要慢慢死于自己所排放

出来的污染物了，还有什么更重要的问题？如果汽车制造商和石油公司肯忍受部分经济损失，问题早就解决掉了。

我只有高中学历。当时我很想进苏洛普学院，也就是加州理工学院的前身，去就读。但是我的智力测验分数太低，所以进不去。我后来跟随一位机工当学徒，从每小时一毛钱工资开始干起。我一生的志向就是要当个最好的机械师，也如愿以偿。

当我从技术实验室（也就是现在的TRW集团）届龄退休，我已经在没有高学历的背景下，达到人生的巅峰。你们这些加州理工学院毕业的聪明毛头小子，竟跑来告诉我事情该怎么做，而且就好像小孩子之间在拌嘴似的，我觉得幼稚得很。

记得在OGO（orbiting geophysical observatory，轨道地球物理观察站）的人造卫星计划里，我告诉他们，某一部分的设计很糟，我可以设计出真正可用的东西。他们开始的时候，都对我的说法嗤之以鼻（心想，一个没读过大学的老粗，也敢说这种大话）。两年后，当OGO卫星在轨道上成功运行的时候，那部分就是我设计的。

你们对原子能的讨论，不像是一群有知识的人。你们的说法冗长费解，对我一点吸引力也没有。有时候，我觉得受教育反而是种妨碍，愈学愈退步。

你是怎么弄到诺贝尔奖的？

真诚的问候

罗杰斯

费曼致罗杰斯|**1966**年**1**月**20**日

亲爱的罗杰斯先生：

谢谢你来信谈到KNXT的访谈。你说得很对，我对烟雾和许多事情，都所知有限。连使用很优雅的英语，对我都相当困难。

我之所以得诺贝尔奖，是由于我在物理上的研究成果，设法发现大自然的定律。我很有把握的只是物理，只是这些自然律。我受邀接受电视台新闻节目的访谈，但是在现场，他们却提出各种各样我不了解的东西来问我。我无论如何总是要回答一些，我已经尽了全力了。当然，你显然是不很满意的。

不过我们是在同一条船上，因为你是很高明的机械师，而我是很棒的科学家。但是我们对所谓烟雾的问题，显然都不是真正了解。就像我对它的评论不能令你满意一样，在你的来信中，你对它的评论也不能令我满意。

假设换成你，得到一个伟大机械师的奖项，然后上电视接受一堆人的访问。他们完全不管你的机械背景，也不问你机械问题，却反而追问一些五四三，如烟雾之类的问题，你将如何应付？他们既不管你喜欢什么，也不管你一生奉献了什么，甚至不管你为什么获奖，却反而问一些毫不相干的问题，其实是蛮伤人的。

因此，我在接受访问的过程当中，其实是很不快乐的，尤其是要回答一些我根本不太知道的问题，因此也顾不得什么礼貌了，请你略微体谅些。

但在此顺便提一下，我一直希望自己在机械工厂里，能表现得稍微好一些。我做的东西结合得很差，轴承也老是摇摇晃晃的。要有好的机械师才能做出一些好的装置，可以做一些精密准确的度量。

而物理学家在探索自然律时，非常需要这种精确的度量。因此，我

们物理学家非常依赖你们这种人，常需要你们的密切配合。有些物理学家，本身也是技艺精湛的机械师，例如罗兰德（Henry A.Rowland，1848～1901），是第一个做出精密的画线机而制作出衍射光栅的人。

至于使用“你们这些家伙”这一类的字眼，很抱歉让你觉得很不舒服。但这是因为我从来不相信口才好和会说很多美丽词藻的人就特别聪明或善良。我认为语言只是表达意思的工具，只要能清楚表达出自己的意思就行了。不过我得承认，“你们这些家伙”听起来不太礼貌，不是那么好。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致意大利比萨高等师范学院的两位教授**——**伯纳迪尼（**Gilberto Bernardini**）与雷迪卡提（**Luig Radicati**）**|1966**年**2**月**9**日

亲爱的同人：

谢谢你们的邀请。我很喜欢比萨和托斯卡尼这两个地方，当然也很喜欢和你们在一起共事。我最大的困难是，我也很爱这里。

我有个温馨的房子和温暖的家，我并不想把这一切暂时搬到意大利去。我是个爱家、恋家的男人，不能长时间离开家乡出国去。

不过我还是再度感谢你们。或许有一天，我有机会到意大利待上一段时间。但待一年实在是太长了些。

诚挚的祝福

理查德·费曼

《物理教师》杂志编辑布契塔（**J.W.Buchta**）致费曼|**1966**年**2**月**18**日

亲爱的费曼教授：

《物理教师》（*The Physics Teacher*）上有这样一个附注的题目，就是草坪上有个洒水器，喷水的时候是顺时针旋转的；若把它放在水里，而水由喷嘴流进，那么它也会顺时针旋转。怎么会呢？这个问题有个标题，叫“费曼问题”，我想，这个问题可能是你首先提出来的。你愿不愿意为《物理教师》写篇评论，说明一下这个问题？

这个问题似乎可以用来讨论对称性、可逆性以及流体力学。我相信本杂志的读者一定非常高兴看到你对这个问题的意见。希望能得到你的具体答复。

诚恳的祝福

布契塔



费曼摄于家中，1966年

费曼致布契塔|**1966**年**3**月**3**日

亲爱的布契塔先生：

首先，请不要把草坪上的洒水器问题，标成“费曼问题”。我也是在当研究生的时候，才听别人说起这个问题的。当时我们讨论了一下，我还做了一场小实验来证实自己的想法（实验的最后，还发生了一些小麻烦，某个装置炸了）。这个问题最早出现在1883年马赫（Ernst Mach，1838～1916）出版的《力学的科学》。这书于1893年由马科马克（McCormack）翻译成英文，并由Open Court出版社出版，第299页上有这道题目，还有一张附图，编号是第153 a。我想我不需要再针对这个问

题，为《物理教师》杂志写评论了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：草坪上的喷水器问题也出现在《别逗了，费曼先生》一书："第一眼见到的时候，会觉得答案再清楚不过。但是麻烦来了，有人认为它当然会向这个方向转，有人认为它当然会向另一个方向转。"

莱斯湖高中教师黎灵革（**Thomas J.Ritzinger**）致费曼|**1966**年**3**月**2**日

亲爱的费曼先生：

我是威斯康星州北部的物理老师，目前教5个班级的新物理课程PSSC。由于我们的学校在偏远地区，我的学生并不太容易碰到科学家或真正的研究人员，也没有什么机会和这些人谈话。

如果你愿意帮忙，我倒是想到一个好点子，可以让他们有一次和大师对谈的经验，应该会让他们终生难忘。我想和你约个时间，利用长途电话，和我的学生们谈一谈。如果你愿意把这段电话对话列入日程，我会很乐意把所有的学生集合在礼堂里，听你通过长途电话而来的谈话。你可以对他们说些勉励的话，他们也可以问你问题。我会请我们这里的电话公司协助解决所有的技术问题。我想，总通话时间可以订为35分钟或40分钟，你可以先讲个20～25分钟，然后让学生问几个问题。

这个举动对我们学校的学生来说，是个空前的创举。但我相信对130名修物理课的学生来说，一定很有启发性。他们约占全校新生的一半。

如果你在百忙中，能拨出一段时间给我，促成这件美事，我一定尽早把安排的细节告诉你。请你接纳我这个提议。

诚挚的祝福

黎灵革

费曼致黎灵革|**1966**年**3**月**15**日

亲爱的黎灵革先生：

真是个疯狂的主意，一定贵死了。但如果你都这么说了，我当然没问题。

不管怎样，我们就来试试这个伟大的电话通信计划吧。但我想把整个通话时间都给学生问问题。我想试试不用黑板，单凭一张嘴，能不能把事情解释清楚。听起来很有趣，我愿意试试看。

我星期二上午、星期三和星期四下午都不行，其他时间大致都没问题，除了4月2日，以及4月22～27日这几天之外，因为在这几天，我会去纽约。

我从来没有听过这么棒、这么有创意的主意（一定贵得不行）！

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：黎灵革在1966年4月25日写信来向费曼致谢，说：“学生都非常兴奋，从他们课后的言谈，我知道他们从你的回答和谈论中，受益非常多。”

费曼致全国科学教师协会霍金斯（**Mary E.Hawkins**）女士|**1966**年**3**月**21**日

亲爱的霍金斯女士：

请不要替我举办新闻座谈会（就是布伦小姐在3月7日信中所提的）。我唯一答应的是1966年4月2日星期六，在你们的大会上发表一场演说，讲题是“科学是什么？”。这次演讲的目的，只是要和与会人士一起探讨科学的意义。我知道自己没有什么特别重要或有价值的东西好说的，而且演说的内容一般人一定没有什么兴趣。我不希望有很多不速之客跑来听演讲，也不想为他们扩大演讲的内容。

因为这是教育界的研讨会，记者想知道的，是和教育有关的事。我对这类事情，并没有什么特别深入的研究，因此，不值得为我办个记者招待会或新闻座谈会之类的事。我不会制造新闻。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致怀特豪斯女士|**1966**年**4**月**13**日

虽然费曼已经不再是加州课程审议委员会的成员。但直到1966年，他还为委员会审查小学的自然科学教科书。

怀特豪斯女士：

下面是我对于一年级和五年级的6种版本科学教科书的意见。福斯曼（Scott Foresman）版本——普通。

在一年级的课本里，关于一些像凝结之类的自然现象，有很简单清楚的实验描述。但是描写动物的内容，大部分都是谈到它们外观上有什

么不同，完全没有谈到动物如何生长、繁殖、抚育幼兽之类的事情。

在五年级的课本里，化学与声音的部分很清楚，也写得很好。但是电学与气候的部分就不是写得很好。特别是这两部分的教师手册。并没有注意到所谓正确的答案和大家预期的答案有什么不同。给老师提示不足以让他防止学生答出完全符合逻辑却不按常规的答案。另外，这些单元的一些实验并不那么容易，可能做不出原先想要的结果。但是老师却没有足够的线索，知道哪里可能出错，或是该怎么办。

麦克米兰（MacMillan）版本——很好。

一年级的课本可读性很高，而且可以直接了解。实验的部分编排得很好，内容的分量合理。五年级的课本也是很好的科学教材，而且非常实际，包含了许多日常生活上的应用实例的照片（并不是艺术家笔下的示意图）。但是依照我的看法，还是塞了过多的材料。

赖劳（Laidlaw）版本——两个年级都很差。

一年级的课本里，用一种有缺陷的分类系统（依照动物的羽毛、翅膀、硬壳和鳞片）来分类动物，造成很多纷扰。在教师手册里，有很多令人混淆或含糊不清的叙述。列了很多问题，但是没什么方向，也不知所以然，例如为什么要将动物分类。他们的想法是把学生引导到预先设想的答案上，就算达到教生物学的目的了。

教师手册的“引导发现”上面有很多问题的答案，需要大量的解释与改写，才能使学生了解。对于那些受到较少科学训练的老师来说，这份教师手册语焉不详，帮助不大。

五年级的课本里，几乎找不到有哪一段是完全正确无误的；而要正确或精确表达出同样的内容并不是那么困难。看起来，编教科书的人头脑似乎不是很清楚。而教师手册也是内容贫乏，难以让老师去弥补课本

的缺点，甚至很大部分的内容，里面都有一点小错。

希斯（Heath）版本——很好。

一年级的课本内容简单、正确而优良，没有塞进太多东西，说法也是直截了当的。教师手册对老师而言，是很好的科学教材，使他们比学生领先很多，可以好好指导学生。

五年级的课本里，很正确地强调了仪器的制造与校正。另外，科学实验的部分也很好，采取一种很好的、操作型的观点。但是课一里的实验这么多，要做这么多的装置，等等，会不会分量过多了？

哈寇特，布雷斯与沃德（Harcourt, Brace&World）版本——普通。

一年级的教材内容很好，但是潜藏着一个很严重的缺点。细心的老师可以补救这个缺点，但是粗心的老师却会让缺点扩大而不自知。事实上，在第一课的前面，就出现了这种最危险的情况。每个人都很可能偏离正确的学习方式而走到岔路上去。它以一个问题开头：“把玩具狗上紧发条之后，什么东西让它动起来？”这是很好的开始。接下来，我们应该把玩具狗拆开，让一年级的孩子看看那些齿轮、杠杆、弹簧，仔细看看事情是怎么发生的。但是这么好的问题，却有个很糟糕、毫无意义的答案——对孩子们毫无意义，对我也几乎没有意义：“能量使它动起来。”这个答案可以说适合任何会动的东西。不管是玩具狗、真正的狗或摩托车。

这给学习的人一种印象，科学只是熟练地套一堆公式，以得到标准答案。老师问：“什么使它运动？”很多小朋友立刻举手，抢着要回答。他们已经学过了，会说：“能量使它运动”、“重力使它落下”或“摩擦使鞋底磨损”。但这些回答都只是文字和名词而已，并没有真正说明什么。它就像下面这个说法一样，“因为神的旨意”，而没有再进一步解

释。

能量是一种非常微妙细致的观念，很难对一年级的学生说清楚，让他们能够了解；但如果要把它硬记下来，不知其所以然，并不困难。相对来说，力就容易得多了。这个版本的教科书，有个如此草率的开头，真是太可惜了。书里很多地方都有类似的问题，只是企图把学生引导到某个特定形式的答案上去。

另外，还有一个不太严重的缺点，就是课本里用了很多艺术家所绘制的示意图，来说明事情发生的状况。例如在第34页上，教师手册说，“让同学们看看图4，证实一下自己预测的情况。”等等。而书里没有真实的图片，例如化石。书里也没有建议老师带个化石标本给大家看看。

五年级的课本是很好的科学教材，相当仔细又没有太多的实验。如果不是内容过多的话，我觉得它很不错。

哈泼与劳氏（Harper&Row）版本——很好。

一年级的课本看起来非常好，谈得也很深入。五年级的课本也处理得很好，尤其是有关过程与现象的处理，非常细腻。有一单元讨论到我们如何学事情，也很不错。可能内容太多了一点。你看，例如第180页的词汇。

在两个年级里，我都看到一些有错误或可能误导的陈述。但是它们都是孤立的，而且可以补救。

（我不得不承认，当我还是课程的审议委员时，出版公司把这一套课本寄给我，却让我那3岁半的儿子发现了。他常常要求我读课本里的东西给他听。我们也一起做了一些课本里的实验。等到和别的课本比较，再看看它的教师手册，我现在知道这套一年级和五年级的科学课本

是相当不错的。但我还是觉得这套教科书其他年级的课本里，有关“观察，但没有什么理由”的东西太多了。不过，我没有看过其他版本同年级的教科书，因此没有办法比较。不管怎么说，只看一年级和五年级的教材，可能不足以判断一整套6个年级教材的好坏。）

结论

送审的教科书中，有几套是很不错的。但我能不能表达一个不属于科学范围的意见？我认为这些编得还不错的教科书都太贪心了，想教太多的科学知识给学生。学生要学的主题和内容太多了，例如神经细胞构造中，每个部位的名称之类的东西。这些东西在五年级的科学课本里是没有必要的。科学并不比别的学科重要，不应该凌驾一切。好东西太多，也会让人消化不良而倒胃口。另外，我们会不会处于另一种危机之中，就是任课老师的负担太重了。

你问我能不能挑选一套基本教材。如果你的意思是，学校可以决定采用某一套教材，这点当然很好。但我不认为必须同时采用两套教材；除非学生只需要一套教材，另一套则摆在教室或图书馆，供大家翻阅参考。我粗略地检验了一下那些我认为“很好”的教科书，并不觉得有什么严重的缺点，需要利用另一套教科书的某些观点来补救。目前已经有教太多科学内容的趋势了。除了当作参考资料之外，我们已经不需要再加些什么了——我假设你们不会选用赖劳的版本，它显然太简略、太贫乏了。

每个版本的内容都不错，但有些讲得并不清楚。有些老师可能喜欢某个版本，觉得比较简单、好教，有教师手册可依循。但是死记教师手册里的东西来教学生，并不是训练学生独立思考的好方法。而训练学生做独立的思考，是科学教育的目的之一。

在一些比较好的五年级版本里，东西太多了。你们能不能建议老师

不必全部教？

最后，所有的教材都假设学校什么设备和教具都有，从小蛇到鸡蛋到电缆。你们怎么可能提供这些乱七八糟的东西？我认为，建议采用某种教材的人，应该仔细看一下它的实验课程设计，想一想如何供应实验材料给学校的老师或学生。这才是负责任的态度。

希望我已指出这些版本的错误与缺点。

很抱歉，我没有时间看马里尔写的《科学原理》。

代我问候各位老朋友。

狄克·费曼

写于星期三凌晨3点30分

费曼致圣荷西基督学校教师戈德歇尔（**Richard Godshall**）|**1966**年**3**月**2**日

1966年2月19日，戈德歇尔先生写信来感谢费曼寄给他一篇一年前写的评论文章《新数学的新教科书》（请参阅《附录五》）。戈德歇尔先生询问费曼对于“SRA大克里夫兰地区数学计划”所推行的“新数学”有什么意见，而且说要买10份费曼的文章抽印本，在校务会议上发给校长和其他人看。他也写了一些他个人对新数学的看法。戈德歇尔先生举出一个例子，说他研读新数学教材3个月之后，看到“乘法在加法上的分配律”是：2×2=（1+1）×2=（1×2）+（1×2）=____+____=____。

于是他找了班上几个成绩很好的学生，问他们知不知道分配律是什么意思。他说，学生的回答至今仍在他的耳边回荡。“我知道2乘2是什

么，但我不知道那些空格是什么鬼玩意儿？”没错，有多少学生知道那些空格是什么鬼玩意儿？

亲爱的戈德歇尔先生：

我对你所提的，有关SRA新数学的意见，有些评论。这也是对新数学课程最严重、最多数的批评，就是它动摇了老师和家长对数学教育的信心。就像皇帝的新衣那个故事一样，学生有一种直觉和本领，知道“那些空格”只是一些没有什么用的鬼玩意儿。只有小孩子看清楚皇帝根本没穿衣服。

我认为书本只是协助老师教学的工具，不是发号施令的独裁者。请相信你自己的常识和判断，并且保护自己的学生，不要让课本里没有意义的提示、摘要或虚假的矫饰给吓倒。保持一个独立自主的人格，并且站在学生这一边。

比如说，你要教学生认识“大于”和“小于”的符号，只要提醒他们，>（大于）这个符号的一边比较开（左边，两条线向外发散），另一边比较窄（只有一个点）。因此，在比较开的那边的数字，会大于比较窄的那端的数字（9＜5，而5＜9）。

我的确参加了数学教科书的评选工作，而且明知SRA的新数学有很多缺点，还是不得不选它（这教材最严重的缺点是缺乏文字叙述性的问题）；因为我们只能就有限的几个版本，挑选比较好的教科书来用（过程之困难，是你们很难相信的）。我们也觉得SRA教材太正式而没有弹性，也缺乏文字叙述性的题目，因此，建议了一些补充教材和它合并使用，希望教学上比较平衡。但最后州议会决定要节省经费，就把购买补充教材的预算给砍除了。

随信附上10份文件给你参考，就是你在信里要的东西。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼的信件草稿（这封信不知道是什么时候写的，也不知道要寄给谁。连最后到底有没有寄出去，都不太清楚。）

亲爱的先生：

关于我对小学数学新课本的意见，谢谢你的批评指正。

你说我并不是数学教育的专家，这点完全正确。我从来没有写过任何小学的数学课本，连一个单元都没写过。我对现在小学生的数学能力，也没有任何第一手的经验。我甚至不太清楚小学数学老师的能力，等等之类的。我有的东西只是这些教科书本身。不过我可以保证，所有的教科书我都仔细看过。

你说，一篇文章若是充满许多容易产生误解的举例，根本不可能做出什么评论。你的这项看法完全正确。你的来信正好印证了你的看法，你的信一次又一次做出误解性的批评。我没有责任针对你的误解做回应，你的很多误解似乎是来自粗枝大叶的浏览。

首先，你否认那些大量用在工程或科学上的数学，都是1920年以前发展出来的。但是你举的例子，却都是1920年以前的产物。其次，你读到“用在物理上的很多数学，并不是单独由数学家发展出来的，很多都有理论物理学家的参与”。于是表示，“大部分的应用数学，都是由非数学家发明的。”“很多”当然不是“大部分”，更不是“全部”。你的例子只能够说明，并不是所有的应用数学，都是由非数学家发明的。

你说，我暗示那些没有实际用途的数学是有问题的。我否认有这个意思。我只是说，纯数学家通常不太理会数学有什么实际用途。而我们

这些使用数学的人，要更加注意数学和使用的事物之间有些什么关系。至少要比纯数学家更关心数学的应用问题，纯数学家通常对这种事情没什么兴趣。不是这样的吗？

我并不反对数学的抽象性，就是这种抽象性才使得它有用。请再仔细读一读我的文章。只是从很多经验，我们知道抽象的东西本身，并没有太多实际的用途。例如许多受数学训练的人，写过不少量子力学的论文，但是不太实用。而且，如果数学要真的有用的话，了解符号与它所代表的应用之间的关系，“也是”很重要的。注意我说的是“也是”，并不是“唯一”。

这些教材现在都在我手边，我们很容易查一下，并没有把17安培和15伏特加在一起的例子。但是有一本教科书，它不像其他课本，居然特别提到数学在科学上有很广泛的用途，还举了个例子：“红色星星的温度是8000度，蓝色星星的温度是2000度。约翰看到3颗蓝色星星和1颗红色星星。请问约翰看到的这些星星，总温度是多少？”我本来很高兴居然有教科书肯用实际的例子，说明数学在科学上的用途。但是看到这样的例子，却让我整个呆住了。并不只有这样一个例子，而是整个章节的计算题都是用不同颜色的星星加加减减的。因此，你不能把加州公立学校采用什么课本的错，全部都怪到我的头上来。另外，你读过这些课本吗？

我并不反对使用技术名词。我反对的是，只告诉学生某些技术名词，却没有进一步解释它们的意义。关于我在文章里提到的“名词”与“实例”，我并不反对名词，我反对的是，没有以实例来说明的名词。你不认为实例应该跟着名词一起出现吗？有的时候，我们在数学课只学到相关的数学名词的使用，却不知道它们的意义何在。

你或许觉得我有些夸大，不信的话，去翻翻一些数学课本。例如几何课本，我发现上面有上百个名词定义，但真正的事实描述只有两项

——就是一个封闭的图形可以把平面分成两个区域；以及长方形的对角线相等。我一直在想，学生单凭对几何图形的直觉，恐怕会比跟着课本，学习得更快、更有效率。如果教科书不能改，老师和学生不如多花点时间在其他的数学课题上，不要浪费那么多时间去背名词定义。

你说，我反对那些不是十进位的进位制？对新生来说，对不起，我不知道你会读它。对教授来说，我可没有反对。

诚挚的祝福

（没签名）

费曼致拍立得公司兰德（**Edwin H.Land**）先生谈视觉|**1966**年**5**月**19**日

亲爱的兰德先生：

这次访问你和你的同事（请原谅我记不住他们的名字），我觉得非常愉快。你们的实验激起了我很多想法，我的脑子到现在还停不下来。真可惜我不是在麻省理工学院，否则我就可以再次前去打扰，把一些效应的细节再看仔细一些。有太多新东西我本来不太了解，直到最近才知道其中有些是相当重要的。我想把我想到的事写信告诉你们，并不是我认为你们还没有想到，或者想告诉你们什么新鲜事。只是把它当成后续的意见交换，让你们知道我学到多少东西。

在飞机上，我开始思考为什么“正投射是红光，背投射是白光”，结果却没有色彩。我立刻明白，其中有一些我不了解的更基本的东西在里面（这只是其中的一个特例）。谜题在于，为什么当正红和正白的图像（色彩都非常饱和）稍微有点抵消时，色彩会全部消失。在很短的时间里，我认为自己了解（以视网膜的观点）视觉上的色彩感是怎么形成的，当你看到色彩的时候会怎样。但究竟是什么原理决定了在什么情况下，你会看不见色彩？又为什么会看不见呢？

真正的答案必定来自实验，单凭臆想在这个例子里完全派不上用场。但是我在飞机上没办法做实验，只好一直动脑筋想下去。因此为了好玩，我就把自己思索的过程写下来，但并不表示事情一定是这个样子。我只是单纯基于思考的乐趣，想要看看这些想法有多刺激。

我们的第一个原理是视觉的存在是为了求生存。一只动物不论在什么距离、什么角度或什么照明度之下，必须辨认出某一只虫子是不是同样一种虫。对视觉系统简单的生物来说，这是第一要务。它必定是先要得到一些线索，接着要解释这些线索。我所谓的“解释”，必须是为看到的东西建立一些“实体概念”。如果你看到一个椭圆形（我指的是视网膜上的感光细胞感觉到光线），你必须认识到：它是一个在空间里倾斜的圆。如果事实上真的也是这样，这种反应必须是立即的反应，不能有任何延迟。这种“在空间里倾斜的圆”以及“同样一种虫”就是我所指的“实体概念”。这就很像是理论，可用来解释你看到了什么东西（以视网膜上的感光结果为主）。因此，大小是恒定的，形状也是恒定的（也就是说，梯形和平行四边形都给当成不同方位的长方形来处理），此外还有亮度的恒定和色彩的恒定等。这些都属于视觉系统中“解释”动作的例子。照度的变换和一个东西色彩的改变，也是视觉的解释行为。

我应该给它取个名字，叫作“解说员”，虽然我并不知道它是怎么运作的。我们人造的机器太简单了，没办法做好这件事。我们通常认为视觉的第一步是很简单的，机器也会做得很好。例如，我们用装置A来度量平均的照明度，用装置B来度量某个点的强度，等等。另外，为了解释亮度的恒定，以及两眼如何把视线差异转化为距离感，还要发展出一套完全不同的装置。此外，要分辨一整排的小点和一条直线，或者是圆或椭圆的不同，需要更复杂的认知装置，等等之类的。我根本不知道这些装置是怎么作用的。但是总而言之，这些装置的功能特性都是很相近的。其实为了节省时间，我们只要能了解下面那几个关键，可能是比较聪明的做法：①现在有什么东西是已经做好的。②对感官很简单的生

物，什么是它生存所必需的。这样，它可以利用感官去分辨什么是食物、什么是它的掠食者。③这个辨识过程中有许多特性，哪些特性是基本的或共通的；因此，我们应该研究这种视觉辨识本身的特性，以后再去研究各项机制的细节（我认为这里谈到的“视觉辨识”问题，在心理学里可能叫作“生成完形”）。

因此，你们所做的视觉色彩的实验，在心理学研究上，可能非常重要。因为他们可以利用控制实验的方法，来研究这个“解释”的过程。而且这整个过程，可以尽量减少“意识”的影响或干扰。

我们假设视觉辨识方法是提供一套理论（或实体概念）给眼睛看到的线索。如果理论符合所有看到的线索，就能理解这个看到的东西。然后，他就把自己的意见送给心智程度上更高级的辨识系统。在我的想象里，心智辨识系统的层次可能是：辨识光点；辨识直线；辨识空间中的矩形；辨识出两个东西并排（一个盒子在桌上）；辨识两个东西重叠（杰克躺在棺材里）；辨识悲剧或感知悲伤等情绪。可能这就是大脑的心智辨识方式了，先做出简单的辨识，接着做出一层层更复杂的辨识来。我们研究的只是其中的一部分“色彩辨识过程”。

因此，由蒙德里安（Piet Mondrian，1872～1944，荷兰画家）作品发出来的光线信号，完全符合辨识理论的条件，它就给当成一件彩色作品。如果照明度改变，但是仍然符合“彩色物体在不正常照明状态”辨识理论的条件，则我们感知到的色彩并没有改变。同样的，那些红光和白光的重叠图像，在视网膜上会产生“在某种照明程度下的彩色物体”这种印象。这是一套几乎能符合所有现象的理论（例如双眼的立体视觉影像，以及其他信息交换的理论）。因此我们知道，眼前并没有实际的东西，只有银幕上的影像。（但是这个解释却无法消除由底层心智传上来的色彩的解释，因为这不是可以自主控制的。）但如果图像有轻微的抵消，原先的视觉辨识理论就无法作用了，这时候的“物体”过分复杂，传

统的双重影像理论也无法说明，我们就看不到这个“彩色物体”了。



1966年加州理工学院的才艺表演，费曼也上场热舞同欢

大脑的某部分能让人做很多“色彩思考”工作，真是令人难以置信的事。而且这种解释作用还是不自觉也不能够控制的。事情或许真的是这个样子，也或许不是。最简单的生物只要是能够看东西，就应该能做到这一类的思考。这种“解释过程”由进化发明出来，然后加以改良，一再地运用，而且一层一层地发展上去，愈来愈复杂——这件事难道不是可以想象得到的吗？大脑的进化，很可能就是这个样子，低级的思考与高级的思考是很类似的过程。那些较低级的视觉辨识过程，可能是为了提高效率，才改成自动控制的模式，不需要其他感觉系统的介入。对人类

来说，它是内建的本能，不需要学习，是与生俱来的。就像昆虫与其他的简单生物，几乎所有行为模式都是与生俱来的，只需要很少量的学习就行了。

物理学家眼中的心理学，是经由行为习惯的研究，设法找出里面所包含的简单元素，而不是同时研究人类的整个大脑。通常他们会把简单的动物来当作研究的对象，问题是人脑并不是长在这些动物身上，而且我们又如何能知道“毛毛虫怎样看待这个世界”？不过，确实很可能在我们的大脑里，就有这种“简单动物”的行为模式，是进化过程烙印下来的。我们的高层逻辑思考就建立在这些原始的行为模式上，却无法控制这类属于本能的行为模式。“色彩辨识”可能就是这种本能的行为之一。

因此，我很想知道我们什么时候看得见色彩，什么时候又看不见。请把你们所知道的事尽量告诉我。我初步猜测这种“色彩辨识”有两条法则：①如果“实体概念”能充分解释所看到的景象，视觉辨识系统就说它是个实体。②如果出现其他很强烈的规律，是“实体概念，无法解释的，大脑可能就不做出解释，或随着时间不同而做出不同的解释。如果没能解释，这个“没能解释”的信号也会送到更高层的辨识系统去（或许是这样吧，不管它叫什么）。

我还想到一些比较不重要的事情。首先，你们投射到银幕上的所谓红色和白色的光点，实际上只是不同程度的“粉红色”光点。（这里我说的粉红色光点，只是红色投射光和白色投射光有不同比例的混合效果而已。“粉红色光”也可以是绿光或棕色光，等等。）因此，只要在一台投影机里放一张幻灯片，上面有一些红颜料和一些灰色的吸收剂，就可以模拟出完全近似的效果。而理论上，你可以找些朋友，迅速用它来示范。从打出来的投影光上，只会看到红光和灰色光，产生一张全彩的彩色投影。（所谓全彩，就是你用两台投影机，一台投射红光，另一台投射白光所得到的结果，如绿色、橙色、棕色、红色等。）

其次，就是进行一个难得多的实验：用红色和灰色画个图片，把它放在深色天鹅绒屏布上，用投射灯直接投射在图片上（只照亮图片本身，房间的其他部分都只有间接照明）。这个图片看起来也会是全彩的。

我还有其他的想法。但这封信我已经写了两个星期了。其实我一回来，立刻就动笔的，但中间给其他事打断了许多次。我就此打住吧。

不过我要在这里威胁你：如果你不肯到我们这里来，把有关你实验的事演讲给我们听，我就要自己上台去讲这些东西了。

诚挚的祝福

费曼

费利（**Tomas E.Firle**）致费曼**|1966**年**8**月**7**日

亲爱的费曼博士：

我必须向你致谢。不久之前，你发表了一篇文章，其中有一段的开头是："我站在海滨……"

当我第一次看到这一大段文字，立刻产生了很强的共鸣。它让我深深觉得美好、优雅，滋生信心。因此，我擅自更动了一些顺序，使它更能抒发我个人的情绪。因为这些文字正好可以做其他更有意思的排列组合。

得知我父亲于7月4日死于德国的消息后，我想和我的继母分享我对生命与大自然的感受，我发现你这篇东西正好是我的心情写照。于是我设法把它翻译成德文，寄给我的继母。但我离开德国很久了，德文也忘得差不多了，我想我的德文翻译一定很差劲。但是你在文字里所表达

的，真的很贴近我的思想和感觉，所以我还是寄给了继母。

为什么我要写这封信给你？一部分是我想表达对你的谢意。你无意间写下的一些字句，对你自己可能没有什么重要的意义，却正好满足另一个人的心灵需求。另外，老实说，我欣赏你思想的细致。对我来说，这篇散文代表了科学的伟大和艺术创造力的结合。

真诚的祝福

费利

我站在海滨

孤独的，开始思索

波涛滚滚，翻来覆去

是分子，堆积成山

每个分子都自顾自地忙自己的事

数以兆计，分散开来……

肉眼所见，却是白色浪花

日复一日，年复一年

在洪荒之初

就像现在这样，雷鸣般地拍打着海岸

为了谁？为了什么而奔忙？

在一个死寂的行星上

还没有任何生物诞生

永不停歇的

任由能量折磨、驱策

那是太阳的慷慨挥霍

肆意洒入太空

只一丁点，就让大海呼啸

而在海洋深处，所有的分子

却反复出现多种模式

直到一种全新的复杂模式现身

它们使别的东西变得和自己一样

于是，全新的进化之舞开始了

尺度增长，愈趋复杂

生物，

成堆的原子、DNA、蛋白质

舞姿更加精确缤纷

从海洋的生命摇篮来到陆地

终于，直立起来……

那是有意识的一群原子，懂得好奇的物质

站在海滨

思索会思索的

我，

在原子的宇宙里

有如宇宙里的一原子

——费曼的《科学与想法》，阿隆斯（A.B.Arons）编辑

费曼致费利|**1966**年**10**月**4**日

亲爱的费利先生：

其实是我需要谢谢你。感谢你注意到，甚至欣赏我原本想藏在演讲里的东西。当然，我自己也觉得这份东西还蛮有诗意的。可是在一场公开的演讲里吟诗弄词的，我怕别人会觉得我很荒唐。你重新安排得非常恰当，完全不露痕迹，就像是我原来做的一样。事实上，你应该看看我手写的演讲稿，那是我为演讲所做的准备。那是一行一行写的，就和你的“解读”一样。当然，你觉得值得把它翻译成德文，真是太抬举我了，我觉得倍感荣幸。但是更令我受鼓舞的，是你觉得这份东西可以抒发你对丧父的情怀。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致《今日物理》的编辑艾里斯（**R.Hobart Ellis, JR.**）|**1966**年**10**月**3**日

《今日物理》（Physics Today）期刊寄了一份问卷给费曼。费曼回答："我从来没读过这本杂志，也不知道为何会出版这份杂志。请把我的名字从赠阅名单中剔除，我不想要。"在1966年8月25日，该杂志的编辑写信来，表示费曼的反应"对他们产生一些值得研究的问题"。主要的顾虑是，自己的杂志什么地方有问题，"是不是我们发行的宗旨不对？或者我们服务的态度不佳？……如果物理学家都不喜欢，也不需要《今日物理》，我们很愿意改变自己，提供一些物理学家喜欢也需要的东西"。以下是费曼的回答。

亲爱的先生：

我并不代表所有的"物理学家"，我只是我。我并没有阅读《今日物理》这份杂志，所以不知道它的内容如何。或许很不错，但是我并不知道。我只是请你们不要再寄《今日物理》给我。请依照我上一封信的要求，把我从赠阅名单里删除掉。至于别的物理学家喜欢或不喜欢，需要或不需要，都和这个请求无关。

谢谢你花了很多时间，写了一封这么长的信给我。我并不是要动摇你们对自己杂志的信心，也不是建议你们停止发行这份杂志。只是请你们不要再寄给我而已。你们能不能帮帮忙？拜托啦！

诚挚的祝福

理查德·费曼

●中文版注：

《今日物理》是美国物理学会发行的杂志，多年来已成为一本很重

要的物理杂志。1988年2月费曼过世时，以及1989年2月费曼逝世1周年，该杂志皆以封面故事大篇幅刊载纪念费曼的文章。

麻省理工学院林肯实验室沙皮罗（**Irwin L.Shapiro**）致费曼|**1966**年**10**月**21**日

亲爱的费曼教授：

有件事你听了以后，一定觉得很好玩。上星期我们放了你精彩的演讲影片《伟大的守恒原理》之后，无意间听到有几位观众提议，你应该出马角逐州长宝座。我只是不知道他们希望你竞选的是加州州长，还是我们这儿的麻州州长。

诚挚的祝福

沙皮罗

费曼致沙皮罗|**1966**年**12**月**6**日

亲爱的沙皮罗教授：

他们说的，当然是加州。我觉得在这个时候，最好是发表一份声明，表示自己并没有意愿。但是话又不要说得太死，让那些促成这件事的民众不会太失望。接着在适当的时候，我就可以表示，自己既然是选民托付重任的人，只好勉为其难，出马为大家服务，同时也感谢他们的支持。不过届时请你不要发表公开的评论。当然，私下你也可以鼓励那些为我的前程在辛苦奔走的人，给他们一些支持与信心。

谢谢你把麻州的情况告诉我。将来我得了好处，绝对不会忘记我的好朋友，沙皮罗的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致波士顿的福拉沙（**Mike Flasar**）**|1966**年**11**月**9**日

亲爱的先生：

你谈到的理论物理和实验物理所需要的数字能力，基本上是正确的。但是数学成绩B等和这些事没有什么关系。那种数学虽然很常见，但在物理学上，不管是理论或实验领域，都不太需要。

努力找出让自己着迷的东西，当你找到了之后，就知道自己一生的事业了。例如某甲为别人挖水沟，他做这种工作或许是被生活压力所迫，也可能是因为脑袋不够聪明，这种人就是“工具化”的。而某乙也在挖水沟，却特别卖力。虽然旁观的人分不出来他和某甲的工作有什么差别，可是某乙自己知道，他是在挖宝藏。因此，你就认真挖掘自己的宝藏吧。等挖到宝的时候，你就知道接下来要做什么了。

你这个时候，还不急着做决定，只要依循你熟悉的事务努力去做，其他机会仍然会等着你。诚如你说的，在任何一个研究所里，你都还有机会从理论领域转回实验领域，或者反过来，而且任何时候都行。

当你找寻自己喜欢的东西时，也别忽略物理之外的机会。那些热爱自己工作的人，绝对不是知识偏狭的专家，也不是什么都会的万事通，而是做那些自己喜欢的事的人。你一定要爱上物理以外的活动才行。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致加州的戴维斯（**Jehiel S.Davis**）**|1966**年**12**月**6**日

亲爱的先生：

我很抱歉，没有关于1922年芝加哥万国博览会所用的彩色电视机的资料。我也不知道应该去哪里寻找这些资料。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致印度的阿罗拉（**Ashok Arora**）**|1967**年**1**月**4**日

亲爱的阿罗拉：

你对原子力的讨论，可以看得出来你读了很多自己并不了解的东西。我们所讨论的东西是真实而且能碰触到的大自然。我们尝试由理解简单的事物着手，而学习到观念，过程是诚实而直接的。我们研究无数在我们周围发生的小事情：什么使云飘浮在天上；为什么我们在白天看不到星星；为什么有油污的水面会反射出绚丽的色彩；倒水的时候，为什么水从壶嘴出来会形成一条曲线；为什么吊灯前后摇晃的时间是一样的……

当你学会了解释这类小事情之后，你就知道所谓正确的解释是怎么回事。接下来，你就可以进一步去处理更复杂的问题了。

不要读这么多东西。看看自己，想想自己看到了些什么。

我已经要求主事的行政部门，把加州理工学院的入学资料寄给你，里面还有申请奖学金的办法。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致瑞典普兰伯格（**Tord Pramberg**）**|1967**年**1**月**4**日

亲爱的先生：

我打邦戈鼓是个事实，这件事和我从事理论物理的研究，根本是两码事，完全不相干。理论物理是一种心智活动，是人类心智高度发展的成果之一。你说，研究理论物理的人故意做一些别人也能做的事，例如打邦戈鼓，好证明自己也是个正常人。这根本是胡扯，我认为这种说法对我是一种侮辱。

我有个足以证明自己是个平常人的办法，就是："你给我滚远一点！"

诚挚的祝福

理查德·费曼

希布斯（**Albert R.Hibbs**）致费曼|**1967**年**1**月**10**日

希布斯博士曾是费曼的研究生，也是《量子力学与路径积分》的共同作者，是费曼的亲密好友之一。多年来，他在"喷气推进实验室"担任过多项重要职务。其中最为人称道的是担任发言人，在很多次太空任务里，他上电视为大众解释任务的内容。（我和我先生就是在他家结婚的。他是"大地之母"教会的函授牧师，为我们主持婚礼。）

喷气推进实验室办公室便条纸

主题：太空人资格申请

这是推荐信的格式。我跟你提过，拜托你帮我忙的。我想申请当太空人是经过深思熟虑的，并不是随便说说而已。我的年龄和身高虽然都超过标准，但是国家科学院在这些要求项目之下，有一段补充叙述："对于非常特殊的情况，这些要求项目是可以有例外的。"显然，我

必须说明自己在某些方面拥有特殊才能才行。我在太空科学方面有非常好的背景，尤其擅长太空仪器系统。虽然我在这方面学识的渊博应该是独一无二的，但它对阿波罗登月计划可能不是那么重要。不过我在美国科学院国家航空和航天管理局（NASA）的征才计划上，看到他们需要“机敏而想象力丰富”的观测员。我希望自己的背景正好符合需要。

不仅如此，我还觉得自己具备一项别人很少有的才能，很是特殊。我非常擅长和别人沟通科学事务与成果，而且经验丰富。因此，我是集观测员与沟通者于一身的。希望这是我的优势，足以破格入选。

先谢谢你的帮助。

亚伯·希布斯

费曼的秘书布伦特（**Bette Brent**）小姐致国家科学院**|1967**年**1**月**25**日

亲爱的先生：

随信附上加州理工学院费曼教授对于希布斯的机密推荐报告。

我在费曼教授的授权下，打好了报告中的S 1、D 8、D 9和D 10的各部分。

诚挚的祝福

费曼的秘书贝蒂·布伦特

评语与结论：

申请人：亚伯·希布斯

S 1

希布斯的唯一弱点是，他并不是某个特殊领域的顶尖专家。但依你们的需要来看，这反而是一项优点。他的科学背景和科学精神绝对是一流的，正适合研究一些无法预料的现象。假设有个人受了过多的地质训练，可能会先入为主，认为月球的地质应该和地球的差不多。但是对一位心胸更开阔、更细心而敏锐的观测者（就像希布斯这种人）而言，可能更清楚那究竟是什么东西。希布斯基本上具有冷静、深刻而恢弘的科学态度和兴趣，是很理想的观测者。最后，别忘了他有很多上电视和广播电台介绍科学的经验。他将会非常适合告诉全世界，他看到些什么东西，代表什么意义，以及整个登月计划有什么重大意义。

人格特质

D 8

没机会再详细观察。认识他已有一段时间，我认为他非常聪明而敏锐。他会把科学观测精神用在所有经历到的事物上，而且他喜欢寻求常人难及的体验。

D9

他常在电视上或广播节目里，解说一些非常技术性的东西（我们共同写过一本书），当然也能解说非技术性的东西。他非常擅长沟通。而且对什么东西是重要的，相当能够判断，也很能掌握。

D10

他担任过许多职务，领导过不少单位。虽然我没有从他的同事和部属得到第一手资料，但是我从来没听说他个性有问题，难相处。事实上，我和他有过密切的共事经验，过程非常愉快。

费曼致芝加哥大学校长毕多（**George W.Beadle**）**|1967**年**1**月**16**日

亲爱的毕多博士：

你们是第一个想颁授荣誉学位给我的人，我由衷感谢你们打算给我这项荣誉。

但是这让我想起自己在普林斯顿得到博士学位时的情景。当时也有人没做啥事，就和我站在同一个讲台上接受荣誉博士学位。我的学位可是做得半死，好不容易才到手的。我当时心想："学位就是应该要完成什么研究工作，才能得到的。"荣誉博士学位其实是贬低了博士学位的价值。好比"荣誉电工执照"，又不能执业，徒有虚名而已。我当时就暗自发誓，如果有一天，我有机会得到这种荣誉学位，一定拒绝接受。

现在，你们终于（已过了25年）给了我一个实现誓言的机会了。

因此，我非常感谢你们的厚爱，但我还是不想接受你们给我的荣誉博士学位。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致利薇坦（**Tina Levitan**）**|1967**年**1**月**18**日

利薇坦小姐想写一本书《桂冠：犹太诺贝尔奖得主》，她要求费曼寄一份自传和一张黑白照片给她，好放进书里。

亲爱的利薇坦小姐：

我不太适合归入"犹太诺贝尔奖得主"。理由不止一个。其中之一是，我从13岁开始，就放弃犹太教的信仰了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

利薇坦致费曼|**1967**年**1**月**30**日

亲爱的费曼博士：

你1月18日的来信，我收到了。信中提到说，你不适合放在我那本《犹太诺贝尔奖得主》书中。

其实我的得奖人名单中，不只是包含那些信奉犹太教的人，也包含祖先有一部分血统是犹太人的得主。因为这部分的得奖人一定也从祖先那里，遗传到犹太人的优良特质与才华。

在这种情况下，我能不能够把你也列入名单里？我可以不强调你在13岁时就已经放弃犹太教的信仰这件事。

如果你还有任何理由，不愿意列名在这本书里，是不是也能让我知道？

诚恳的祝福

利薇坦

费曼致利薇坦|**1967**年**2**月**7**日

亲爱的利薇坦小姐：

在你上一封信里，你表示那些有部分祖先是犹太血统的人，一定从祖先那里遗传到优良的特质与才华。当然每个子孙都从祖先那里遗传到一些特性。但是很遗憾，我们对这种事情的知识，到今天还是如此地贫乏。过度强调犹太血统或犹太种族的优异性，是很危险而令人反感的，恕我不能苟同。所有的种族对人类的文明与文化，都有一定程度的贡献

与影响，也都一样地好。如果承认犹太人的血统里，有些什么假想的特质，可以一直遗传给后代子孙，等于是打开了种族优越论的大门，这根本就是胡说八道。

希特勒持的，就是这种论调。既然你认为犹太人有一些特殊的才华和优良特质可以遗传给后代，就不能否认他们也有一些令人嫌恶的缺点，也会同样留给后代子孙。而且，你也不能不接受其他的种族，譬如“雅利安人”也有一些优异的遗传特质可以流传下去。这样扯下去，优生学的那一套又重新搬上了台面。

第二次世界大战给我们的教训，就是不要认为每个人只从特定的父母或祖先，遗传到什么独有的特质。而是所有有价值的特质，都是人类共有的。只要透过学习，我们就可以具备这些特质，不论你是什么种族的人。

一个人的人格形成，不论好或坏，是受到许多因素决定的。包括他的父亲、他的祖先、他受的社会文化熏陶，加上他的学习、他的想法，以及全世界所有种族和文化的背景。我也不例外。我感谢犹太背景的优良（或部分不好的）元素。但我觉得过度强调它是不恰当的，对别人也是一种侮辱。因为在我这个综合体里，是由许多元素共同发挥影响力的，不单是哪个元素占最大功劳。

在我13岁快要接受坚信礼之前，由于宗教信仰观点的不同，放弃了继续上主日学校。但主要的原因是我突然发现，我们所学的犹太历史，那些聪明、有才华的犹太人，被一群驽钝恶毒的陌生人欺侮的事，与事实相去太远。反犹太者的错误，不在于犹太人并不像他们形容得那么糟，而在于那些缺点并不是犹太人独有的，邪恶、愚蠢、粗鄙，其实是普遍存在于一般人身上的特质。今天，大部分美国的非犹太人都了解这一点。同样的道理，捧犹太者的错误，也不在于犹太人并不像他们形容得那么优，而在于那些优点也不是犹太人独有的，聪明、好心、善良，

其实也是普遍存在于一般人身上的特质。真是谢天谢地。

因此，我13岁的时候，不但放弃了犹太人的宗教观，也不再相信犹太人是所谓“神所选择的民族”了。这就是我不愿意列名在你书里的另一个原因。

我希望你能尊重我的心愿。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致利薇坦|**1968**年**2**月**16**日

1967年2月16日，利薇坦小姐来信，表示尊重费曼的心愿，没有把他列入书里。1年后，她要写另一本书《科学家与宗教》，想描写“才华洋溢、成就不凡的犹太科学家”群像，再度考虑把费曼列入。她又寄了一份问卷来，并索取照片。

亲爱的利薇坦小姐：

你2月16日寄来的信和问卷已经收到了。请参考我以前的意见，尤其是1967年2月7日的那封信。请谅解我为什么不能和你配合。谢谢你对我的偏爱。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致沃森（**James D.Watson**，**1928**～）|**1967**年**2**月**10**日

沃森是DNA双螺旋结构的发现人之一。1962年诺贝尔生理学或医学

奖得主。

1967年初，费曼和沃森一起访问芝加哥大学。沃森交给费曼一本书的草稿，就是隔年出版的《双螺旋》。后来沃森到加州理工学院，演讲DNA编码系统。下面就是费曼对《双螺旋》书稿的回应。

不必理会那些没有把整本书看完，就随便批评的人。你的工作（我指的是写书这件事）有非常深刻的意义与绝对的必要性，一些明显的小缺失及显得啰唆的插曲，其实无碍宏旨。正常生活里总是不时冒出琐琐碎碎的小事来干扰，而科学研究的路途上也不乏原地打转和挫败，出现情绪的低潮和突然陷入自我怀疑的苦痛；但是当你逼近真理的时候，总有一股强烈得出乎意料的专注，最后终于成功了，你不免会扬扬自得。这就是科学研究工作的原貌。我亲自体会过这种发现科学真理的美妙经验（或许是在第一次的时候！），就像你书里结尾部分所描述的。这完全正确。

这本书如小说般新奇之处，就是它的情节铺陈，以及结尾留下一个很深沉的、关乎人性的未解之谜：所有参与演出的科学角色，由原本的器量狭窄，一下子变成个个胸襟开阔、无私无我，只因为这些人共同看到了大自然给揭露出来的一个美丽角落，就忘了彼此的芥蒂矛盾？或者是因为我们的作者已然大功告成，对自己的工作成果信心十足，连带有了自信，忽然间就望见笔下的角色，个个头顶都射出仁慈圣洁的光环？

别解答这个问题，就把它留在那里。出版的时候，改得愈少愈好。那些认为“科学研究工作不是这样”的人是错的。你在书的前面，描写了一个带点神经质的年轻人对科学界的印象，好像他周围那些从事科学研究的人，动机都有点疑问。这可能是出于误解，我自己倒没有类似的经验，因为我从来没有怀疑过自己的同事，以什么动机在做科学研究。我想你可能是弄错了。但是我并不认识你知道的那些人，而且你说那只是年轻时的一种印象，因此应该没什么关系。但是当你描述到，当科学的

真理是如何蹒跚而踌躇的接近你，而你脑子里想的是些什么东西，到了最后真相大白时，你脑子里想的又是什么东西——你确实正确地描述了科学的发现过程。我知道这一点，因为我自己也有过同样美妙而惊心动魄的经验。

如果你当真想要在扉页上，弄点东西上去，就告诉我。我们一定有办法做到。

※米歇尔注：在沃森的《双螺旋》精装本的封面上，真的印了费曼的评语："他描写了科学大发现的经验是如何美妙、如何动人心弦。描写得棒极了。"

加州小学生罗宾森（**Danny Robinson**）致费曼|**1967**年**2**月**13**日

亲爱的先生：

我是一个六年级的学生，叫罗宾森。我们老师在班上念了一段微型化科技的故事给我们听。他念的书是《生活》杂志出版的，书名叫《科学家》。书里说你曾用自己的钱，悬赏1000美元，看谁能做出一个边长不到1/64英寸的电动机。书上也说，有人做出了这样一个电动机，把奖金给领走了。这是真的吗？如果是真的，你能不能告诉我们他用了什么工具？这个电动机有什么作用？性能如何？他花了多久的时间才做出这个电动机？你们把电动机放在什么地方了？

很感谢你抽空看我的信。能不能拜托你回信给我？

谢谢你

罗宾森

费曼致罗宾森|**1967**年**2**月**24**日

亲爱的罗宾森先生：

你没有说错，的确是有一个如你信中所描述的电动机。那是麦克莱伦先生为了回应我在一场公开演讲里提出的挑战而做出来的。

我随信附一份我原始的演讲稿，以及麦克莱伦先生的电动机照片与各部零件结构的说明给你。

这种电动机一共做了好几个。我自己有一个，另外有一个在加州理工学院公开展示。麦克莱伦先生自己也收藏着好几个，到现在都还运转得很好。

不过这些电动机并没有什么用途，纯粹是为了好玩才做出来的。如果你仔细阅读我的演讲稿。我还有另一项悬赏，是关于微型化书写。这部分赏金至今还没有人领走。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致俄亥俄州某出版社研究开发部马地厄（Aron M.Mathieu）|1967年2月17日

亲爱的先生：

我的医师禁止我当什么编辑顾问，说这对我的血压不利。我只好封笔不写作，望作家头衔而兴叹。

随信附上25美元和一份手稿，是个到处乱撒银子的呆子寄给我的。为你太太买些花吧。

诚挚的祝福

理查德·费曼

附笔：你寄给我的大纲没有什么想象力，很难相信这能写出什么好东西来。

又记：我把你后面一封信寄来的两章也退回给你。我没有时间好好阅读。

印度孟买的曼宁（**R.B.S.Manian**）致费曼|**1967**年**3**月**6**日

致费曼博士，新路的开拓者

阁下：

像你这样一个大名鼎鼎的人，接到我这样一个无名小子的信（或飞弹），一定觉得很荒唐而摸不着头脑。我是个物理研究生的毕业生，曾经上过以《费曼物理学讲义》为教科书的物理课。我在课程进行的途中，可以说是一路跌跌撞撞的。物理学无疑是一种青春不死的万灵丹，但是把它一成不变地灌进每个人的喉咙里去，就不是那么回事了。所有经过你头脑的千奇百怪的事，就像红场阅兵时展示出来的所有武器，对我们来说简直是眼花缭乱。我们好像身陷在迷宫里，偏偏又碰上浓雾。

你大概无法体会我那种被一拳击倒的感觉。对大一和大二的学生来说，这套课程实在太沉重了。我们这里的物理改革委员会吵吵闹闹地搞了老半天，弄得人尽皆知，却没有把事情做好。我知道有很多学生辛苦奋战了几个月之后，纷纷丢盔弃甲、潜逃无踪。如果事情真是这个样子，加州理工学院应该也不能幸免于难，久享盛名而不衰呀！人真的不要太贪心，不能也不应该一口吞下太大的一块肉，否则一定会消化不良的。物理应该要像这个回旋梯，我的意思是要让学生能按部就班、拾级而上，一步步走向顶端。就算是一条狗在饮河水，也只能喝下那么一小口。而在我们的研究生课程里，居然把你的第二册、第三册和第四册，

一股脑儿全上了。

就像李兹和米福德这么有名的人合写的电动力学教科书，也只能安排在研究生才能上。矩阵表述、张量、群论和算子演算，都不适合大二的学生上。你现在应该可以回顾自己以前的所为，等到思维蒸发之后，稍带着一丝悔意。就连像你这么勇敢的人，也不应该竭力推动这么短视的课程改革。你的书非常精彩，这是毫无疑问的，但它就像一个方形的木块想要塞进圆形的洞里。事实上，倾斜的平面可能是过时了，但是上面若有踏脚石，还是可以让人走上更精练的主题。要想爬上圆形大厅的屋顶，需要楼梯或电梯，没有人能不费什么力气，立刻爬上帝国大厦的顶端。

你怎么会变成这个样子。我不是说你用有高度争议性的现代方式来教物理；你自己是用传统的方式来攀登的。如果是我近视，看不清情况，或是我受到“保守力”的导引，请纠正我。请让我也搭上物理学的游行前导花车，让我也习惯万花筒不停变幻的模式。

请回信。我相信你的正直与敦厚。

诚挚的祝福

曼宁

费曼致曼宁|**1967**年**3**月**14**日

亲爱的先生：

我觉得你的批评也许是正确的。但是另一方面，如果坚持所有的学生都应该遵循老路，一步一步慢慢学习，同样也是不正确的。所有的学生资质都不太一样，有的适合这种方法，有的适合那种方法，不能一概而论。如果是我的书因为太先进什么的，而你不喜欢，那么还有其他很

多比我更基本的物理教科书可以选用。在你的例子里，或许这些书会更适合你。

如果你的学校选用我的书当大学一年级、二年级的教科书，该受批评的是他们，而不是我。当我们开始进行这一系列的课程时，我们想做的，只是教我当时的学生。因此，我给了他们一系列的演讲。后来决定编辑出版这套书，把它们用在随后几年的物理教学上的人，也不是我。我很自豪这是一套很棒的物理书，但是何时该使用、谁该使用、用在什么地方，我都没有什么意见。

非常感谢你的批评。如果你需要这封信去影响校方，不要采用我的书当课本去教育初年级的大学生，我也乐观其成。祝你幸运、成功。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致康涅狄格州寇克伦（**Beryl S.Cochran**）小姐|**1967**年**4**月**27**日

亲爱的寇克伦小姐：

当我愈来愈有经验之后，我知道自己对于教小孩子算术这码子事，根本就是一窍不通。在我尚未有这种自知之明之前，确实写过一些这方面的东西。或许你就是因为这些东西才找上我的。我随信附寄给你。

不过，我目前已经不知道自己是否还同意以前发表的这些看法了。

无能为力的

理查德·费曼

费曼致澳大利亚皇后学院德加利斯（**Hugh Degaris**）|**1967**年**4**月**27**日

德加利斯是个修物理、数学和哲学的大二学生。他表示当费曼老了以后，他愿意取代费曼在科学界的地位。德加利斯还怀疑自己是不是把太多创造力浪费在学习过程，而没有适当发挥在研究上。因此想到加州理工学院可能比目前就读的学校更合适自己的特长。他同意盖尔曼对统一场论的意见，是“我们这个时代的伟大冒险”。希望自己也有“投身其中”的机会。

亲爱的德加利斯先生：

如果你想投身某项科学研究，不论身在何处都没有困难。你必须先学会如何发展和评估自己的想法。你可以先试试自己对“分维”（fractal dimension）有什么想法。这是个纯数学的观念，你得好好发展。在过程中，你一定会学到一些东西的。如果你碰到的想法不够好，或是你让某些无趣的东西给缠住了（这几乎是不可能的），就必须另找出自己的想法，把它解决掉。

与此同时，你可以用传统的方法在学校或经由书本和百科全书来学物理。这可能会让你有其他的想法。不过你还是要知道物理学上有哪些问题等着你去解决，这样你就可以判断，或许某个想法是值得一直钻研下去的。

就我所知，并没有什么速成的捷径。

诚挚的祝福

理查德·费曼

伦敦的加迪纳（**Margaret Gardiner**）小姐致费曼|**1967**年**5**月**6**日

亲爱的费曼教授：

随信附上一份声明稿，是我们准备在《伦敦时报》买广告版面来刊登的，希望你能同意并签名支持我们的立场。如果经费足够的话，我们也打算买其他发行量更大的报纸来刊登广告。我想邀请参与签名的人数并不多，大概50人左右就够了。这50人希望是英国人普遍认识的美国杰出人士（两国人都知道的名人并不是很多）。下面这些人是已经参与签名的，有：盖勃（Naum Gabo）、海勒（Jo’seph Heller）、赫斯（Stuart Hughs）教授、默顿（Thomas Merton）、拉普波特（Anatol Rapoport）教授、沙皮罗教授、西瑞尔（William Schirer）和维斯可夫教授。我希望网罗到一些至目前为止还没有正式表态反战（至少在英国还不知道他们的立场）的名人来签名。

我们相信，这份声明能对英国的民意产生很大的影响。我们“抗议英国政府支持越战”的运动，在这里不断受到打压与嘲讽，不管是正式或非正式场合，都有人把我们和反美画上等号。大家都认定“那是河内的错”。我们也相信，由于英国是唯一支持越战的欧洲大国，我们政府内部也开始有不同的声音。

我们预备在6月1日和2日刊登广告。那时国会正要开议，而威尔逊首相正要拜访约翰逊总统。如果你同意签名，这是我非常盼望的，请尽早回复。

诚挚的祝福

玛格丽特·加迪纳

附笔：如果你愿意赞助广告费用，支票抬头请注明“加迪纳与库斯托，越南专户”。

这份由英国人熟知的美国名人签名的声明，将以广告方式刊登在英国《伦敦时报》，全文如下：

我们这些深切关注越南战争形势发展的美国公民，希望在此把我们反对美国和英国政府官方立场的意见公之于世并记录下来。就是：河内政府并不是唯一的阻挠和平协议的绊脚石。相反的，有很多证据显示，我们美国政府不理会协商的呼吁，一再地将战争规模升级，才是阻绝许多协商机会的主因。

我们保证，你们对这种可耻战争的不安情绪，绝对不等同于反美情绪。这场战争已经把它所声称要捍卫的美好价值观念，摧毁殆尽。因此，任何反对战争的表示，应被视为热爱并且认同我们美国的价值观念。

费曼致加迪纳|**1967**年**5**月**15**日

亲爱的加迪纳小姐：

我对你声明里的精神深表同情，对声明的最后那一段也深有同感，因此本来想签名支持的。但是很遗憾的，我对于声明稿第一段提到的论点，并不清楚。你说有明显的证据显示，美国政府将战争规模升级，阻碍了进行协商的机会。这我看不懂。当然，原本将战事升级的企图是以战逼和，迫使越南政府肯坐下来谈判。这一点似乎是失败了。但是我不知道除了将战争规模升级之外，还有什么其他的方法或机会，能使河内政府愿意谈判。不过我们都不在越南，无法评论那里发生的事是对是错。只是战争的确摧毁了那些我们原本想维护的美好事物。

我对自己是否有立场，签名支持这样的声明并没有把握，因此觉得很懊恼。不过我有个退而求其次的替代方案。随信寄上一张小额的捐款支票，协助你们刊登广告。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致丹内克（**Donald H.Deneck**）|**1967**年**6**月**27**日

这件事不知道是由费曼的一次电话，还是一封信引起的。1967年6月13日，纽约“约翰·威利父子出版公司”的物理编辑丹内克写了一封道歉信给费曼，谈到寄了一封宣传信给他所引起的误会。“虽然这封信看起来像是只写给您的一封信，但是拜现代印刷术之赐，这其实是大量寄发的广告信。全国大约有3000位物理教授都收到这样的一封信”。他希望费曼不会因此而困窘或生气。

亲爱的先生：

你误会我的意思了。我只是想减少自己收到的邮件数量，不管是作者寄来的，或是从任何地方寄来的，并没有困窘不困窘的问题。我只想从你们的通信录里除名。你能不能把我的名字从贵公司的通信录名单中划掉？我对所有的出版公司都这样要求，包括艾迪生-卫斯理公司在内。谢谢你，我没有生气的意思。

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼的长子卡尔与爱犬奇威，摄于1968年

费曼致洛克菲勒大学柯克（**Mark Kac**）教授**|1967**年**10**月**3**日

亲爱的柯克：

对不起，我并不想到什么地方去演讲。我喜欢这里，想安安静静地工作。准备讲稿，出发，发表演讲，然后跑回来，对我平静的生活是一种干扰。

但我还是感谢你们的邀请。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致《纽约时报杂志》**|1967**年**10**月

致编辑：

看到自己的名字和家里小狗的照片，出现在《纽约时报杂志》，标题是《两个寻找夸克的人》（见《附录六》），真是一件很有趣的事情。虽然我做了很多你们在文章里描述的工作，但我却不是促成其他科学家想到夸克这种粒子的人之一。“夸克”是盖尔曼的伟大创见之一，是他独立想出来的。

理查德·费曼

费曼致韦纳（**Robert Winer**）女士|**1967**年**10**月**24**日

看到费曼在《洛杉矶时报》的一篇针对现代诗的评论，韦纳女士写了一封信给费曼。她觉得费曼的评论，总而言之，就是抱怨现代诗人对近代物理没有兴趣。而事实上，现代诗人却写了很多和近代科学有关的作品，其中包括星际太空、红移、类星体。她的结论是，费曼以“喜欢令人望而生畏的困难事物”出名，她还随信附了诗人奥登（Wystan H. Auden，1907～1973）的作品《儿童版现代物理导览读后》给费曼。

如果那些顶级物理学家所知道的

有关事实的事都是真的

那么所有人云亦云的琐琐碎碎、无足轻重

我们平常世界所包含的东西（都将不再有任何意义）

我们将拥有更美好的时光

比大星云更宽广，也比我们脑中的原子更丰富

婚姻将不再有什么乐趣

而更糟糕的是

所有粒子四散飞射，每秒几千英里，波及全宇宙

在这其中，爱人的亲吻

不是没有丝毫感觉的轻

就是重到会折断恋人的头骨

虽然我凝视的脸

要刮它是太残酷了些

但，年复一年，它都回绝

这项古老的请求，而它终仍保有

感谢老天爷，足够的质量

使它能够维持在那里，而非不确定的松垮

就像别的地方那样

我们的眼睛喜欢把这里

看成适合居住的地方

这是以地球为宇宙中心的观点

而建筑师所建构的，也是欧几里得空间

但是，谁创造了某个神话

说我们的房子跨坐在一个不断扩张的马鞍上？

我们的这种热情

化成一股不断寻找的过程

是一种令人无可置疑的事实

但是我将在其中发现更多的欣喜

如果我能更清楚知道

我们要知识来做什么

如果能自由决定要知道些什么

我们的心当然会更平静

看来，似乎已做过一次选择

不管我们是否关心

尺度的极端状态

真正成为一个生物的

是体型中等的家伙，

或者在大自然的政治舞台上

都得是聪明的

这是我们该要学习的

——奥登，《关于屋子》

亲爱的韦纳女士：

我先前没有回你7月7日的来信，是因为我出去度假了。现在我已经回到家，开始处理整个暑假累积的所有信件。

我对诗人的主要论点，并不是抱怨现代诗人对近代物理的进展不感兴趣。而是说他们对最近400年来，科学家所揭露的大自然的奥秘，表现了一副无动于衷的冷漠态度，完全没有情绪上的激动和欣赏。

奥登先生的诗作正好证实了他对大自然的美妙缺乏感动。他自己也说了，想更清楚地知道“我们要知识来做什么”。我们要知识是因为：如此我们才能更爱大自然。当我手上拿着一朵美丽的花儿时，难道你不会换个角度来欣赏它吗？

当然，人类需要知识还有其他的目的，例如打仗、创造商业利益、帮助疾苦的人，等等，有各种不同的动机和价值。这些明显的动机和后果，诗人是知道的，也写了很多作品。但是从那些学习大自然在生物与非生物上表现的规律，从而产生的情绪，如敬畏、好奇、欣喜和热爱等，加在一起（它们本来就是合一的），却很少在现代诗作里出现。自从文艺复兴以来，人类应该已经学会欣赏大自然美妙的特质了。

当代世人是愚蠢的，更可悲的是，这种愚蠢只能利用艺术来调节。当然，没有了艺术的科学，对此事是无能为力的。艺术和诗可以把美丽带回人类的心灵里，逐渐使生命更加美丽起来。

我觉得可悲的是，在科学里，我已经看到一种强烈的美感了。但是看到这种美的人实在太少了，因此也很少让诗人看见。至于一般人，看得出来的人更是凤毛麟角了。

从另一方面来看，你的说法也许是正确的，很可能我看的诗太少了。但至少，你附给我的这首诗，我可是看得很仔细的。它正好证实了我的观点，就是现代诗人完全不了解大自然的知识里那种动人心弦的情绪力量。

诚挚的祝福

理查德·费曼

附笔：你可以找到我的第一手、更完整的评论。在《费曼物理学讲义》第一册第3章第6页的脚注里。

费曼致普林斯顿大学校长波因（**Robert F.Boheen**）博士**|1968**年**2**月**16**日

亲爱的先生：

很抱歉，但我并不想接受你们打算颁授给我的荣誉博士学位。我已经有一个普林斯顿的博士学位了，而且是脚踏实地拼来的。在我得到博士学位的那个毕业典礼上，我还记得当时看到别人获颁荣誉博士学位，心里很不是滋味。我那时就觉得，博士学位应该是真的要做出一番研究成果，才有价值。所谓荣誉博士学位，其实是贬低了博士的价值。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致韭尔斯（**Bruce Jowers**）**|1969**年**4**月**25**日

韭尔斯是加州的高中生，自认为是未来的科学家。他写了两封信给费曼，很可惜我们只找到其中的一封。信里谈到核聚变的装置，以及他觉得其中的基本错误。他还建议了解决的办法：①他认为加热气体直到

气体具有足够的能量进行核聚变，太耗能了，“为什么不让加热气体的能量少一些，大概只要原先的3/4就够了，然后把气体变成等离子体，再用等离子体加速器来加速，让两股等离子体束迎面对撞气体粒子就可达到能够聚变的能量”。②为了造成可控制的核聚变，必须把等离子体包围住，韭尔斯建议让等离子体在一根很长的磁管里运动。他指出，在速度很高的时候才会发生反应，而高速产生的惯性，有助于控制反应。③他认为应该加碳或其他的催化剂来协助核聚变反应。“我看到的所有天文学书籍，都说太阳是借着碳原子做催化剂来完成核聚变反应的。但我没有看到你们用过催化剂。”韭尔斯还附了一张所提出的装置的图。在信的结尾，韭尔斯说：“我希望这封信对你有一点价值。如果可能的话，你可以把我的主意撕成碎片，再把碎纸丢还给我。我还是个高中生，需要一些经验，谢谢你。”

亲爱的先生：

你写了两封信给我，要我把你的主意撕成碎片，然后丢还给你。你可能会很高兴我并不打算这么做，因为整体而言，你的主意是正确的。然而在另一方面，希望你听了也不要太失望，就是：你提出来的主意，以前都有人想到了。

关于核聚变的反应器，确实有人建议过用催化剂，不过不是碳。我们用来聚变的原子，比氢更容易聚变。我们用氘或氚，它们比较容易作用，并且有时候也利用锂来做催化剂，使反应速率快一点。太阳里并没有多少氘或氚，只能从氢开始，因此必须用碳做催化剂。而且太阳的核聚变作用速率也太慢了，不适合我们用，我们必须试试别的反应方式。譬如让两束等离子体对撞之类的，这也是好主意，我们也试过了。至于局限的问题是要使等离子体束保持完整，不要发散开来，逸出装置外。至于原子核的胶合力，你的说法几乎是对的。中子数较大的原子核并不稳定，但这并不是电子把它们拉开的，而是存在一种法则，不让很多相

同种类的粒子占据同一个空间，除非给它们很多能量。（这就是为什么同一原子的所有电子，不会都聚集在原子核附近，它们会彼此保持适当的距离，形成电子壳层的结构，在离原子核很远的地方运动。）我们在你建议的那类实验里，知道电子对原子核内的核子，只有微弱的效应。在不同的物质里，同样的元素可能有不同的化学形式（因此，电子的运动和原子核之间的距离也可能不同）。但是化学形式对原子核的能量，只有些微的影响，也不会影响原子核的衰变速率。原子核本身则是利用强相互作用力，结合在一起的。这种强相互作用存在于核子之间（如中子和中子，中子和质子以及质子和质子之间）。由于质子和质子之间有静电斥力存在，核子之间的结合情况还必须稍作修正。我目前所做的工作，就是与“核力是怎么来的”相关的东西。

诚挚的祝福

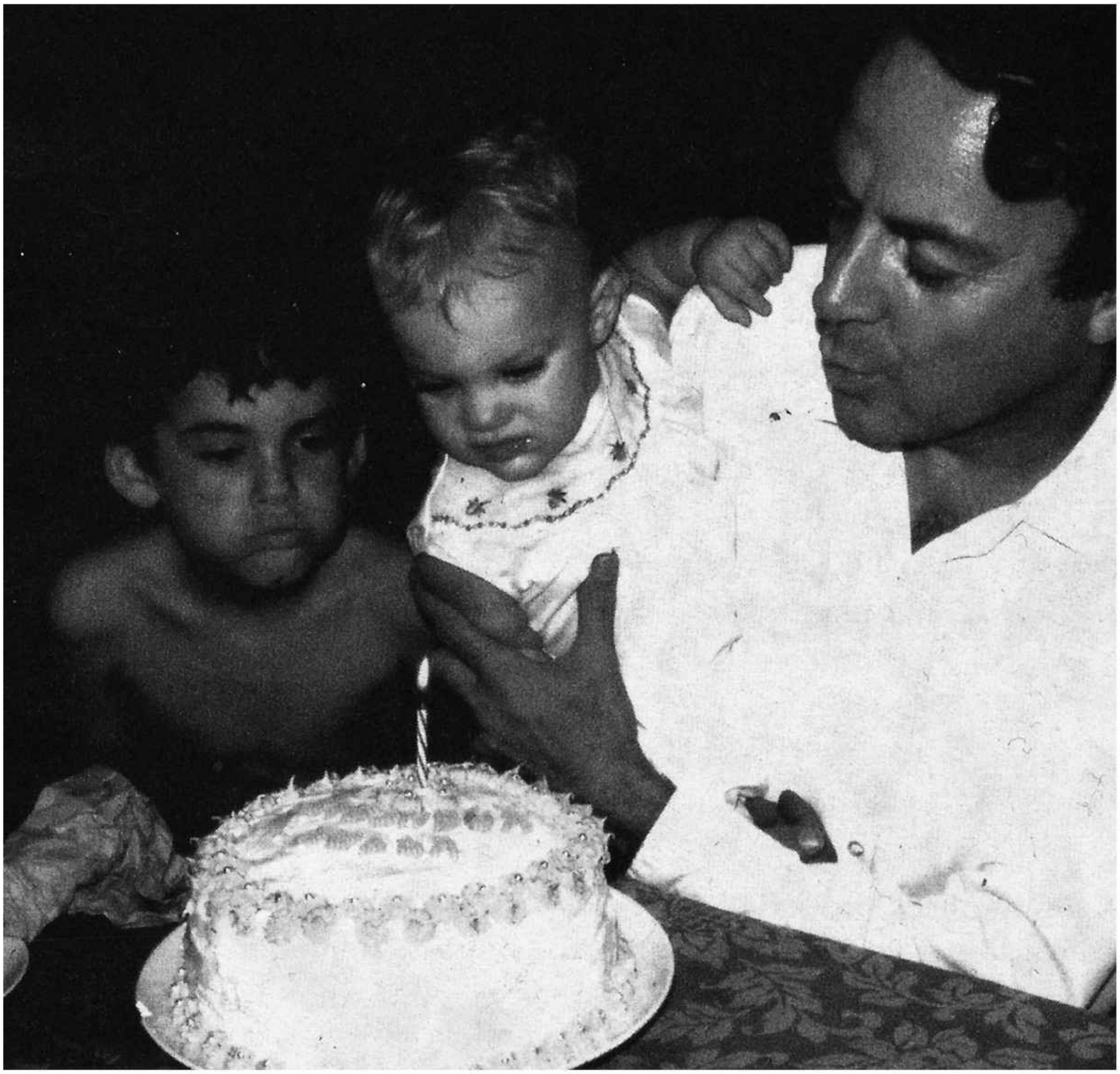
理查德·费曼

费曼致王安迪（**Andy Wang**）|**1969**年**9**月**30**日

就读宾州哈弗福德学院的王安迪是从香港到美国来的留学生，想要念物理。但是他以前的物理成绩并不好，学习有些困难。他写了封信给费曼，还把以前的成绩单附给费曼参考。

亲爱的王先生：

很抱歉，在我更了解你之前，实在没办法给你什么建议。有时候，像你这样的情况只是由于某件事不明朗，就整个卡住了。只要找出问题，形势就会豁然开朗。但有的时候，问题就不是这么简单、这么好解决了，这时候可能不值得费上九牛二虎之力去搞它。你的电磁学有93分，看起来很不错。但是要你硬往石墙上撞去，似乎也是不明智的。我该说些什么呢？



卡尔、米歇尔、费曼共度米歇尔的第一个生日，摄于1969年



费曼看着他的两个孩子在海滩上玩耍

这样吧，去找些对物理也有同样兴趣的朋友，和他们谈论有关物理的事情。如果你发现自己能用很流畅的语言，按自己的方式解释各种物理现象，而他们也能充分了解你所说的，那就没问题了。不久之后，你会发现，你能对自己解释事情是怎么发生的。否则，就死心放弃学物理，另外找个出路。如果你找不到这种朋友，去当家庭教师，教教基础物理，看看进行得顺不顺利。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致匈牙利技术出版社总监索特（**Sandor Solt**）**|1969**年**4**月**25**日

亲爱的索特先生：

听到你说觉得《费曼物理学讲义》这套书非常好，准备把它们翻译成匈牙利文时，我非常高兴。以后你们匈牙利的学生也有机会看到这套书，真是令人开心。

你建议删除部分章节（例如，第48章第9页），要求我允许你这么做。我很难同意你这么做。因为如果有人把你译的书，和别人所翻译的书拿来比较，就会发现你好像动了什么手脚，偷工减料的，不会害得你很尴尬吗？你删除这些章节的原因（可能是重复了，或者现代的研究已经证实那是不正确的），可能读者并不清楚，结果读者会连带怀疑起你其他部分的翻译，是否也不够翔实。

因此我建议你，不如把所有的内容全部翻译出来，然后对于你有意见的那些章节，就加上“译者注”之类的说明，解释你对这部分内容的看法，例如它有重复或过时了等，让学生知道科学是一种原创性的工作，新的后续研究常常会改变老观念。而我自己也会很高兴看到你们这些物理学家对我的想法有些什么批评。

我自己倒是还没有注意到，我的想法在什么地方出了问题。你们附加的批评，会使这套书增色，因此，如果你愿意的话，我很希望你添加这一类的注脚，但请你完整保留整套书的内容。

我再次感谢你的耐心，肯把这本书翻译成匈牙利文。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致莱特（**H.Dudley Wright**）**|1969**年**5**月**1**日

住在瑞士日内瓦的杜德立·莱特先生，是费曼的老友，他设立了一项“费曼奖学金”。

1969～1970学年度的奖学金得主是杨纲凯（Kenneth Young），加州理工学院主修物理的学生。

亲爱的杜德立：

系主任波南先生已经写信告诉你明年费曼奖学金的得主是谁了。本来我也应该写些东西和他的信一起寄给你的。但是他是个做事很有效率的系主任，比我这个粗心大意的教授，动作快多了。

这个得奖的学生非常棒，可说是最佳人选。有些时候，挑选是非常容易的，因为有人就像鹤立鸡群，一眼就看得出来。这次就是如此，我们一开始就搞定了。

有人说，我们毕业学生的素质，一年不如一年（或许是和别校的毕业生相比较的结果，可能人家进步得更快）。我们这位大学部的学生可真的是非常优秀，值得获奖。其实我们先前听到他和同学谈起来，准备转到普林斯顿去。但这项奖学金改变了他的心意，使他愿意继续留下来。真是谢谢你了。

最近有什么消息吗？我们近来有没有碰面的机会？

这里一切如常，家里的每个人都很好。新闻是我们收养了一个女婴。刚收养的时候，她才2个月大，现在她已经8个月大了。当然，她非常聪明可爱。另外，我开了一次小型画展，就在加州理工学院雅典娜馆（Athenaeum）的地下室。因此，未来会发生什么事是很难说的，你最好把我送给你的那些画收藏好。

敬爱你的

理查德·费曼

费曼致加州理工学院教职员同事的公开信|**1969**年**5**月**12**日

张贴在温尼特学生活动中心。

大家普遍认为加州理工学院的学生都闷闷不乐，需要师长们更多的鼓励与关怀。因此，最近进行了很多这方面的研究调查工作，并成立了好几个委员会，来改善师生之间的关系。但直到目前为止，我们这些师长所做的种种努力，好像都没有得到学生的任何回响与反应。但是我在这里想对大家报告的，是近来学生们似乎也察觉到这种改变，开始做出一些小回应，往改善师生关系的方向前进。小小的火苗已经开始冒出头来，我认为应该让所有的老师都知道这种形势的改变，并且做好准备。

上个星期六晚上，我受邀到佩吉院（Page House）。在我观赏一部电影的时候，忽然闯入一群穿宽袍、执木剑的男女，把我带到法兰德斯院（Fleming House）去了。他们为我皇袍加身[由一群可爱的女仆人（米歇尔注：加州理工学院1970年才开始招收女学生，这些女生一定是附近学院的校园美女）]、戴上皇冠，并宣布我是国王（你们当中一些道貌岸然的人可能会不以为然，认为很像罗马宫廷里的酒池肉林狂欢宴）。他们给我送上有4种不同乳酪口味的面包，还有斗士为我竞技、表演。

接着有位哲人趋前宣布，要为国王选妃。立刻就出现4位美女当候选女子，供我挑选。她们每个人都使出浑身解数，在我面前大跳艳舞。后来我发现自己的头枕在其中一位最美丽的女孩膝上，在我们观赏话剧的时候，她把葡萄一颗颗剥下，喂进我嘴里。（我飘飘然，不太记得话剧演的是什么了。）我所有的要求都马上兑现。她们用乳液（后来知道

是一种牌子的绵羊油）按摩我的背。有人拿来一盆热水，我的女伴随为我脱下鞋袜，让我把脚泡入热水盆里。一群乐师为我表演八孔长笛和邦戈鼓。一个酒神打扮的人一直提供美酒。而国王喝的，是一种非常可口的专用瓶装甜酒。

在这种情况下，当然有人妒忌国王。于是就有人阴谋要造反，把国王放逐。但我早已安排间谍在女侍当中，因此事先就得到风声，轻轻松松就把一场阴谋叛乱扫平了。

最后，大家决定（经过一番测试之后），我不必亲自驾着马车回府，另由清醒的御者送我回家。

考虑到这些学生还欠缺取悦师长的经验（譬如我要颗金橘，他们就找不到），我认为这是他们诚心诚意想改善师生关系的第一步。我有很好的理由相信，这代表一股新的政策正在形成。因此我建议，下次有同学邀请你到学生宿舍去的时候，你最好要有心理准备，会受到十分隆重的款待。因为他们会愈来愈有经验，学生之间也会互相竞争，各出奇招。

在美食醇酒的招待下，我和学生的关系突然变得非常亲密。酒酣耳热之际，我忽然察觉到学生的真正意图。就是在很多大学校园里，因为反越战气氛而纷扰不安的此时，他们希望自己校园里有一种平静、快乐的学习风气。他们想要的，并不是学校行政当局所说的和所做的，例如招收更多学生或招收女生这种事，也不是其他很复杂的心理因素。这些本意，隐藏在一些连他们自己也不太确定的表面主张之下。他们只要求一件事，在当时的情况下，对我来说是一件轻而易举的事。我只要宣布，所有法兰德斯院的学生，物理成绩都是A就行了，就足以让他们露出一副欣喜若狂的表情。

我相信我的同事们一定会了解，为什么我说，要处理好师生关系这

件事易如反掌。大家只要把表象和实质分清楚就行了。只要师生关系和谐，我们不会出现其他校园的那种骚动与不安的问题。

至于法兰德斯院的男士，还有女宾，就谢谢你们了，令我有一次终身难忘的经验！

理查得斯·费曼旎思国王

第8部　鼓声咚咚|1970～1975年

对我来说，打邦戈鼓从来都不能算是一种音乐。

我只是打着好玩，制造一些有节奏的噪声。

费曼在教育上的持续努力，为他赢得了1972年美国物理教师学会的厄司特奖章。这是一项杰出的荣耀，使他和许多同时代的大师比肩而立，如：贝特、布契塔、戴森、顾德斯坦、莫里逊、奥本海默、拉比、维斯可夫、惠勒、撒迦利亚。第二年，费曼又获颁玻尔国际金质奖章。

在这段时间里，费曼的物理研究工作主要是发展部分子（parton，就是渐近自由的夸克）的重要概念，这些概念一直到今天还在应用。他也做更多更专业的演讲，后来也改编成教科书，如《统计力学》与《光子强子相互作用》。费曼也继续研究相对论性夸克。

费曼对计算机也愈来愈有兴趣，因此在1973年，他开始和麻省理工学院的傅雷德金（Edward Fredkin，计算机科学界的狂人）谈论发展“人工智能”的可能性。这是他以往相当排斥的名词。

在这个纷纷扰扰的年代，很有趣但并不令人意外的是，许多人都想拱他出马，角逐政治上的名位与权力，并且把他和一些政治议题挂钩。费曼在为自己辩护，为什么决定去发展原子弹，以及评论女性的科学才能时，写过一些真情流露、相当坦率的信件。

●中文版注：

戴森（Freeman Dyson，1923～）和顾德斯坦（David L.Goodstein）在本书内这是第一次出现。戴森是普林斯顿高级研究所物理学教授，曾形容费曼“既是天才，也是丑角……我爱此人之甚，几如崇拜偶像”。顾德斯坦是加州理工学院资深物理学教授，曾为《费曼物理学讲义》作序。

阿巴班内尔（**Henry Abarbanel**）给出席者的备忘录|**1970**年**5**月**1**日

此致：出席第15届高能物理国际研讨会的科学家

起草人：普林斯顿大学阿巴班内尔

议题：苏联以政治理由拒绝特定团体出席国际研讨会

说明：可能大家都知道，从1967年6月开始，苏联已经开始采取一项政策，就是在境内举办任何国际研讨会，拒绝以色列科学家参与。他们利用一种政治手法，就是发邀请函的时候，并没有排除任何特定对象，还是全部邀请。但是在核发入境签证上动手脚，让某些人得不到入境许可，不得其门而入。这里出于政治考虑，而排除某个特定团体参与学术交流的举动，在科学界是一件无法忍受的事。我建议我们一致采取下列行动，以防止这种事情发生在我们高能物理的研讨会上。

我想寄一份严正声明（内容如附件）给大会的筹办单位，就是苏联国家科学院，以及苏联外交部。内容主要是告诉他们，如果有任何团体因政治考虑而被拒绝参加这次大会，那么下面这些签了名的科学家也不会出席这次在基辅召开的大会。由于以色列代表团的签证，预计要到1970年6月1日才能确定，因此这封信会等到那个日期之后才寄出。当然若一切顺利，这封信也不必寄了。如果你同意这份声明的基本理念，请签了名之后寄回来给我，并且留下你的通讯和联络方式，好让我在1970年8月间，可以和你联系，特别是大会的前1周。至少在开会之前72小时，我会让签了名并且留下通讯方式的人知道，以色列代表或其他任何有意出席大会的团体，是否被排斥在外。到时候，如何行动可由各位凭自己的知识作判断。时间是个很关键的因素，因为每个人要到什么时候才能拿到苏联签证，是很难预知的。就算你原本就打算参加了，也要到开会的前一周或前几天，才能拿到签证。

我这样说好了。如果对这次的抗议行动有任何建议，我都由衷地欢迎，也可以随时改变方式。我衷心期盼这件事不会发生，我们最好是白忙一场。但有备无患，事先做好防范，总比临时一筹莫展好。

所有科学家的签名和抗议信，在必要的时候会寄给大会的筹办单位，就是苏联国家科学院和苏联外交部。请在1970年5月25日之前回信。如果你曾经把大会的开会通知转达给任何知名的科学家，是否可以请你把我这封信和声明稿也转给他？谢谢你了。

下面签名的科学家，都认为第15届国际高能物理研讨会应该公开，让所有的物理学家都能够出席。如果任何团体由于政治立场的不同而遭排除，我们将拒绝出席这项会议。

费曼致阿巴班内尔|**1970**年**5**月**14**日

亲爱的阿巴班内尔博士：

我已经多次拒绝出席在苏联召开的研讨会，也包括这次的基辅大会。我不以科学研讨的名义访问苏联，是由于苏联政府对科学家的钳制政策，限制科学家做什么或去哪里。我同意你的声明。但它好像暗示，如果以色列的科学家能够出席会议，我就会去似的。这违反我的本意，我根本不去。其实苏联科学界的弊病比这件事严重多了。因此，我不想签名。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致英国代表卡迪（**K.A.Cardy**）|**1970**年**8**月**27**日

卡迪是“联合国教科文组织”（UNESCO）的英国代表，想提名费曼，争取“科学普及化”贡献的卡林佳奖（Kalinga Prize）。

亲爱的先生：

听到你考虑提名我，争取联合国教科文组织为科学普及化贡献所颁

的卡林佳奖，我觉得非常荣幸。但是我认为自己并不适合争取这奖项，感谢你的美意。另外，因为我正打算到印度去旅行。如果不小心得到这个奖，回来的时候，别人要我说明印度的科学普及状况时，我就很难推辞了。

抱歉我这么晚才给你回信。当你的信到的时候，我正好出去度假了。刚刚才看到你的信。

诚挚的祝福

理查德·费曼

古根汉（**John Simon Guggenheim**）纪念基金会机密报告**|1970**年**12**月**9**日

古根汉奖金候选人：盖尔曼

推荐人：理查德·费曼

推荐报告：

在高能物理的领域里，几乎每一项重要理论的发现，都和盖尔曼的名字扯上一些关系。事实上，我们知道的所有这些粒子的对称性，就是他直接研究出来的。让这位候选人有足够的经费去做任何他想做的事，可说是对物理发展的最大贡献，也必定会有最丰硕的成果。把奖金用在这个地方，将会提高你们基金会的名誉与声望。

理查德·费曼签字

※米歇尔注：不知道是不是费曼的推荐信产生了影响，盖尔曼得到1971年的古根汉奖金。

费曼致柯鲁克（**Stanistow Kruk**）**|1972**年**1**月**18**日

柯鲁克先生是18岁的波兰学生，写信给费曼，问道："你对科学世界持什么样的态度？你怎么有这么伟大的科学成就？你对于还没有发现的物理定律，有什么想法？……你在18岁，像我这个年纪的时候，知不知道自己将有个大好前程？"

亲爱的柯鲁克先生：

很抱歉，你的问题都太大了，很难用三言两语说清楚。

我只能告诉你，我有一本英文演讲集，书名是"物理定律的本性"。至于用波兰文发行的演讲集，可参考Feynman Wykxady Z Fizyki, Warszawa 1970，Panst-wowe Wydawnictwo Naukowe，但这本书你很可能已经看过了。

我在18岁的时候，并不知道自己的未来会如何，但我知道我自己要做个科学家。这是很刺激、有趣而重要的工作。

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼与米歇尔，摄于1970年

麻省理工学院教授基斯佳科夫斯基（**Vera Kistiakowsky**）致费曼|**1972**年**2**月**11**日

亲爱的费曼教授：

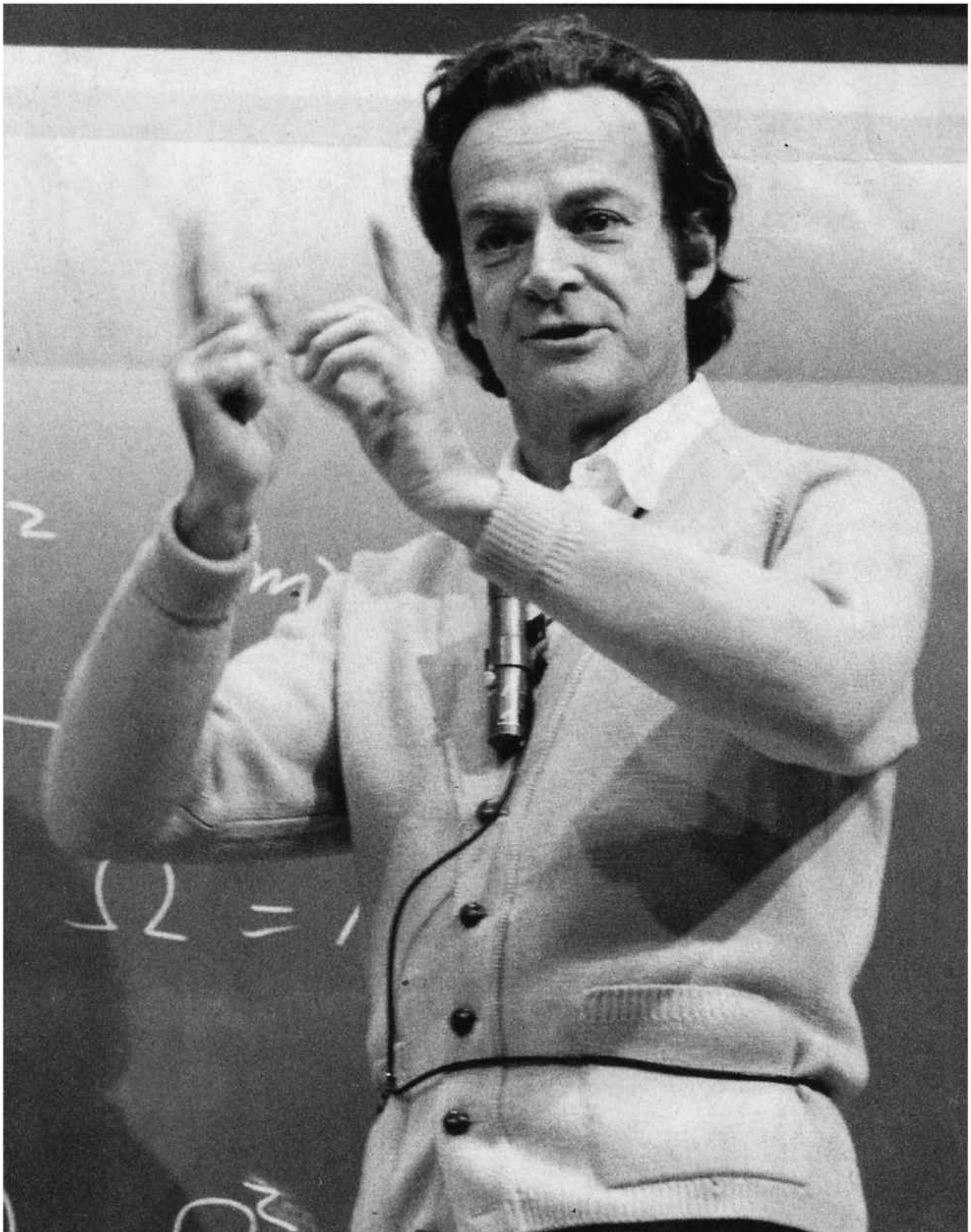
你最近在美国物理学会年会发表的一些有关妇女的言论，以及你在书里提到的和女性有关的言论，我想表示一下意见。我正好以美国物理学会的女性物理学家委员会主席身份，撰写一份女性在物理学界情况的报告。因此，这件事让我感同身受。

你说，女性在物理学界的确受到一些差别待遇，你也说，这样的情况很荒谬。你的说法有很深远的正面影响，尤其与会的听众绝大部分是物理教师。你的见解也不同于一般人。虽然很多物理学家都把两性平等

挂在嘴上，表示不管男女，在物理的研究上有相等的才华，但只是说说而已。他们通常也认为，由于婚姻和养儿育女的牵绊，女性和男性在学术成就的表现上，是有差异的。其实这样的想法是有问题的。统计结果指出，已婚妇女在科学上的成就超过单身的女性科学家。但很多人借口说，“影响成就的因素太多了”，而不理会上述的统计事实。因此，如果你的名望能让社会大众普遍接受你的说法，你应该有资格获颁女权运动的斯坦顿奖章（Elizabeth Cady Stanton medal）。

但是我对你在《费曼物理学讲义》里提到的，有关一件女性的逸事，我觉得你是把精力浪费在无足轻重的琐事上了。我之所以这样说，是因为你在书里开玩笑扯到的那位女驾驶员，只是一件鸡毛蒜皮的小事。我还是很开心地用你的书当我教学的课本，并没有挑动女权意识的神经。这已经是好多年前的事了，当时我还没有开始阅读女权运动的书籍，并思索女性社会地位的问题。从那之后，我的女性意识开始觉醒，我开始观察自己的行为，并且在女儿的支持下，从事很多心理学和社会学的研究，得到一些很明显的结果：就是所有的媒体和社会大众都对女性灌输一种她们能力稍差的印象，让女性以一种鱼与熊掌不可兼得的矛盾心态来看待自己事业上的成功。简单地说，我觉得你在书里引述的女性逸事，会造成人们的一种错觉。他们会觉得：你看，费曼（伟大的物理学家）笔下的女孩笨笨的，不像男性物理学家那么聪明；我是个女孩子，可能不适合当个物理学家。

费曼1970年在阿岗国家实验室演讲的神情



费曼1970年在阿岗国家实验室演讲的神情

当然，这种说法可能是过度简化了。但我认为其中含有许多真实的成分。如果你把故事里的“女人”，用一个含有浓厚种族歧视的词来取代，如“黑鬼”，就可以看出这则逸事的隐含意思了。尤其你以今日的声望，更会增加它们的负面反应。因此，我个人认为这不是微不足道的小事，这比女博士物理学家受到的不平等待遇，影响更要严重。

诚挚的祝福

基斯佳科夫斯基

●中文版注：

与女驾驶员相关的故事，请看《你干吗在乎别人怎么想》一书的第7章。

费曼致基斯佳科夫斯基|**1972**年**2**月**14**日

亲爱的基斯佳科夫斯基博士：

很感谢你的来信。很不幸，我以前在书里引述的一件逸事，今日却变得有些敏感。或许我当时应该更小心些，别去提它比较好。但现在已经有点晚了。事实上，我同意我妹妹对这件事的看法（她正好也是女博士），她认为，除非故意误解本意，否则根本是小事一桩。你说这故事让人觉得，“费曼笔下的女孩笨笨的，不像男性物理学家那么聪明”，这是你的看法，我并不觉得如此，尤其是后半句。这样的说法对我并不公平。虽然我在书里，有两处提到“女驾驶员”和“女人的心思常改变”，对女人似乎有些不敬；但我也提过“一位非常天才的母亲”，以及“哥伦比亚大学吴健雄女士的实验”这两段杰出女性的叙述，应该足够补偿了。至于一个核物理学家女友的故事，是真人真事。只是它谈的，是特定人物，而不是泛指所有女性。

我妹妹认为，物理是一门很难的学问。要学好物理，不但要具备客观独立的思考能力，不会人云亦云，还要非常地专注，不为无关紧要的鸡毛蒜皮之事分心。她认为有人若是过度在意速度的定义是不是够精确，或某种度量能力是否具有普遍性，或者书里偶然提到的例子是不是太敏感，这样的人在研究物理的过程中，是得不到乐趣的。

我妹妹的看法可能是错的。但我觉得我们都应该更理性一点，把重点放在书里真正的主题上。如果我们的潜意识要做出离题很远的结论，要能把它拉回正题。现实世界的问题已经够多了，够我们忙的。

如你所说，你的女权运动神经并没有给挑起。这已经足够证明，你的推论不一定成立。别人的神经应该和你的一样。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致赛沙吉里（**A.V.Seshagiri**）|**1972**年**10**月**4**日

赛沙吉里是印度孟买的19岁学生，写了一封8页的长信给费曼。他有严重的口吃问题，他告诉费曼，为了这语言障碍，他可说是吃尽了苦头。而且他和老师的相处也出了问题，赛沙吉里觉得他的老师“以打击学生信心、消弭学生的学习热诚为能事……他们敝帚自珍，并不想传播知识”。他觉得加州理工学院似乎是一个理想的学习环境，可以让他“不受骚扰，心平气和地学习”。

亲爱的赛沙吉里先生：

你很幸运，你喜欢的学科是物理。学习物理不太会受到语言障碍的影响。事实上，物理常需要单独研究，你必须自己教自己，自我成长。不必太在意你的老师的态度。有很多不同程度的物理书可在市面上买

到，物理学的各个不同领域都有，每本书的写法也不太一样。你要去找一套适合你程度的书——那种你很喜欢看，又可以从里面学到很多东西的书。如果你正好觉得我的书写得很有趣，我随信寄一本全是习题的小书给你。不过我的书对你来说，很可能太难了些。我给你的这些习题，如果你现在没办法解答，也不要紧。放轻松些，先阅读那些你真的看得懂的东西。你的知识是会随着阅读而逐渐增长的。

请你了解，现在你和老师之间的困难，并不是印度普遍存在的情况。我把你信里提到的窘况，和我一些熟悉印度的同事讨论过。他们都在印度待过很多年，对印度的教育环境有一定程度的了解。当你的学习更上一层楼，你就更有机会碰上很和善、了解你困难的好老师。

想进入加州理工学院念大学部，是非常困难的，尤其是外国学生，更是难上加难。但是，进研究所，尤其是攻读博士，情况就容易多了。事实上，我们今年物理研究所招收的20位博士班研究生，就有两位是印度来的。我建议你留在印度，完成学业，得到学士学位和硕士学位。如果到时候你还没有改变研究物理的心意，就可以申请美国的研究所。

这时候，你要心平气和地学习那些你有兴趣的东西，真正了解其中的道理。我不知道你的兴趣何在，也不了解你的程度，因此没有办法推荐什么特别的书给你。你可以到孟买的图书馆，去找适合你的书。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致小希布斯（**Bart Hibbs**）|**1972**年**10**月**13**日

小希布斯是希布斯博士的儿子。

亲爱的小希布斯：

你要我写信告诉你，为什么太阳快要下山的时候，是红色的。

太阳光是由7种颜色的光合成的。空气分子对每种颜色的光，散射能力都不一样。蓝色光最容易被空气分子散射，红色光最不容易。因此，天空的颜色（在背离太阳的方向）通常就是被空气分子散射光线的颜色。大家都知道天空是蓝色的。而那些没有被散射掉，直接由太阳穿过空气，进入我们眼睛的颜色，蓝色就比较少些。若阳光穿透的空气愈多，它里面蓝色光的分量就愈少。由于落日的时候，阳光通过很长的大气层，才进入我们的眼睛，看起来当然是红红的啦。

落日的时候，天空和云朵的颜色非常漂亮，但形成的原因也非常复杂。其中有些颜色是太阳直接照射在云朵上而形成的，有些是散射到较高天空的阳光映照下来而形成的。因此，千变万化，彩霞满天。

我希望这样已解答了你的问题。如果你因此而想到更多的问题，就写信给我。我也会设法回答的。

你的好朋友狄克·费曼

费曼致芝加哥的钱德（**K.Chand**）医师**|1972**年**11**月**6**日

费曼到芝加哥参加高能物理研讨会。当他走在人行道上时，不小心被地上的长草绊倒，把膝盖骨撞裂了。

亲爱的钱德医师：

我是你9月7日动膝盖骨手术的病人。你要求我出院之后的一个月或两个月，写信把复原的情况告诉你。我的复原情况很好，一切都如你预料的。我今天膝盖可以弯到90°（所以我才记起来，要写信给你），而且每天以l°左右的成绩在持续进步中。谢谢你和库肯尼医师做了这么好的手术。请把我深挚的谢意转达给他。

这次的搭机旅程非常轻松愉快。在搭机和下飞机的时候，他们（美国航空）都准备了轮椅。他们还给了我靠近机舱门的特别座位，前面的空间很宽敞。更体贴的是，由于飞机并没有客满，他们把我旁边的座位都空了出来，因此我有3个排在一起的座位。整个飞行途中，我的脚都舒舒服服地放在椅子的小枕头上。

我在你们医院的日子，的确过得很愉快，而且还记得很多位好心友善的医护人员，例如护士小姐平内克、营养师钱小姐、理疗师布雷斯先生和乔伊斯先生等人。只是当我看到保险公司为我支付的每日医疗费用账单时，还是吓了一跳！

如果我另一个膝盖也得跌碎的话，我希望会发生在芝加哥，那我就可以再度碰上各位了。我正准备去芝加哥访问国家加速器实验室，时间大约是12月初。按照过去的经验，我应该会再跌倒。请各位预先准备好。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致吉布森（**Malcolm Gibson**）|**1972**年**12**月**29**日

吉布森15岁，从英国写信来问，“在知道原子弹这种武器的可怕威力之后”，想知道费曼参加原子弹研制计划的个人理由。他也理解费曼这种大师级人物的时间宝贵，或许会“觉得不必向我这个毛头小子说明理由”。最后，他说并不确定费曼是否做过原子弹，如果没有，愿意为自己鲁莽的打扰道歉。

亲爱的吉布森：

我确实参加过原子弹的制造。主要的理由是我怕纳粹先做出原子

弹，征服全世界。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致密苏里州春田市赫斯提（**Ben Hasty**）**|1973**年**7**月**1**日

这年生日，费曼收到一张别致的生日卡。卡片的内容是“祝生日快乐，费曼！一群上普通物理课、读《费曼物理学讲义》的开心学生。谢谢你？”生日卡上装饰着许多数学符号，有箭头、加号、无限符号、惊叹号、圆点的乘号，以及用积分符号代替费曼英文姓氏开头的F，等等，后面还有16个签名。

亲爱的同学：

如果不是我亲眼看到，一定不会相信这件事。一群很开心的学生，联合寄生日卡给那个写课本的教授？真是有没有搞错？在我们那个年代，学生都很痛恨那位写书的人，为自己带来这么多的苦难与折磨。或许年头真的变了，但我看出来你们还没有堕落到那个地步，因为在“谢谢你”之后，你们用的是问号。

你们真是太棒了，给我一个很大的惊喜。这又是一个令人难以置信的故事，将来我一定要讲给我的孙子听。

非常感谢你们，祝你们幸运。

理查德·费曼

费曼致丹麦哥本哈根福斯达（**Niles Fosdal**）**|1973**年**5**月**9**日

亲爱的福斯达先生：

我当然愿意接受你们的美意。考虑颁玻尔国际金质奖章给我，是我极大的荣誉，真是令人惊喜的消息。我太太和我很愿意在9月30日到10月7日这段时间内访问哥本哈根。我们还计划带着11岁的儿子同去。我很乐意发表一场演讲，只是还没有想好要讲什么题目。

谢谢你们认为我值得获这个奖。我们会珍惜你们给我们的机会，好好地去哥本哈根探险一番。我知道哥本哈根是一座很美妙的城市，已经造访过许多次了。但是我太太还没有机会去拜访。我很高兴能为她导游。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致阿格·玻尔（**Aage Bohr**）**|1973**年**9**月**6**日

亲爱的阿格：

任何时候，我都愿意和物理学家或学物理的学生谈话。但我不太喜欢正式的演讲。我们能不能采取比较轻松的座谈方式？大家坐在一起聊聊问题，有问有答的，这样我会自在些。

如果你觉得这样并不合适，请尽早告诉我，我会设法想一些适当的题目。但我还是希望不必这么正式。

诚挚的祝福

理查德·费曼

●中文版注：

阿格·玻尔（Aage Bohr，1922～2009），丹麦物理学家，1922年

诺贝尔物理学奖得主玻尔（Niels Bohr）的第四子，因发展原子核的结构理论，而获得1975年诺贝尔物理学奖。



1973年10月，费曼从丹麦女王手中接受玻尔国际金质奖章

费曼致意大利米兰辛格特（**H.B.Hingert**）教授|**1973**年**9**月**12**日

辛格特教授怀疑，费曼去巴西讲学之前，是否学了西班牙语？但他认为，巴西曾是葡萄牙殖民地，费曼学的应该是葡萄牙语才对。

亲爱的辛格特教授：

谢谢你的来信。《费曼物理学讲义》这套书是艾迪生·卫斯理公司出版的。我相信在英文书店里应该买得到。

我去南美洲之前，确实学了西班牙语。我当时想去南美洲走走，但是还没有决定要去哪里，因此学了西班牙语备用。后来我接到邀请，到

巴西做3个月的研究。我是在成行之前的一个半月，才收到邀请，所以在这6个星期里，我赶快学了一些应急的葡萄牙语会话。

很多人喜欢听我因为语言不通，遭人家捉弄的故事，因此我也不特别去说破，故意装得好像我根本不知道巴西是说葡萄牙语似的。我希望听故事的人能满足于这些故事，不要再深入追究。其实我受的愚弄还多着呢。两害相权取其轻，就让这些傻事继续流传下去吧。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致加州斯佩兹（**Hubert Speth**）先生**|1973**年**10**月**10**日

亲爱的斯佩兹先生：

谢谢你来信祝福。我们刚从哥本哈根回来，卡尔和我们一道去了。给你说对了，他看到我从丹麦女王手里接受奖章时，高兴得不得了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致麻省理工学院付雷德金（**Edward Fredkin**）教授**|1973**年**10**月**18**日

亲爱的付雷德金：

我有很多事该谢谢你。

我们加州理工学院有个同事叫温斯顿（M.Weinstein），很喜欢“人工智能”（或不管它叫什么东西）这一类的玩意儿。他建议我定期在电

脑的终端机上敲敲打打的，而这个终端机又可以连上全国各个先进的电脑系统，好看看会发生什么事。我想，我现在对电脑的能力有些认识了，也开始思考我们接下来需要些什么等等之类的问题。而在做这些事的过程中，我得到很多乐趣。他说，是你建议他来找我的，因此我要谢谢你。

如果你愿意的话，或许可以给我一些建议，告诉我你希望我做些什么，或思考哪一方面的事。我还认不清我们现在所做的事，头和尾是在哪里。我现在开始玩的，是Macsyma，是一个叫布拉史东（Don Brabstone）的人教我的。你对于该思考的方向，有什么建议吗？我的初步印象是，Macsyma系统似乎笨笨的，它对于我工作中经常要用到的代数运算并没有什么帮助。但我不知道这算不算是适当的评语？如果真的是，就让我不幸而言中了。

现在谈另一件事。你曾经提供给加州理工学院一笔钱，让我能随意运用。我一直想不出有什么适当的用途。但去年，有个很优秀的研究人员（已经得到博士学位），叫雷方达（Finn Ravndal），觉得必须回挪威找份工作。我会和他共事，我们还合作发表过一篇论文。我对这件事觉得很难过，因为：①我们必须分离；②他会陷在挪威，做一种他既不喜欢，也不能发挥才干的事。忽然，我想到了你给我的礼物。我用这笔钱提供他在这里继续工作1年的机会。我们的领域（高能物理）忽然充满了新的想法与刺激，而我们这一年的合作真是既丰硕又愉快。

现在，他已经得到哥本哈根玻尔学院的一个职位，玻尔学院是相当有声望的好地方。因此，我们救回了一个好手。这也要谢谢你。

我把你给我的“缪斯”送给一个住公寓的小男孩。我已经充分享受过了。

你那儿有没有什么新消息？

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：信尾提到的缪斯（Muse），是数字音乐盒之类的东西。就付雷德金教授所知，那是第一个里面有数字电路的大众产品。

费曼致雷顿（**R.B.Leighton**）|**1974**年**4**月**18**日

主旨：邀请付雷德金教授造访1年。

目前担任麻省理工学院计算机科学实验室MAC计划主持人的付雷德金教授，明年有意来我们加州理工学院待上1年，做些研究交流的工作。但是计算机科学有许多分歧，每个人的兴趣也不同，研究的对象五花八门，范围很广。因此，我们这里相关科系的人，有人对于他的造访非常有兴趣，也有人持冷淡的态度。所以，若有其他科系的人也对他表示支持，应该有助于他获聘为本校的费尔柴尔德讲座（Fairchild Fellow）教授。

我对计算机科学的一个专门领域特别有兴趣。很不幸的是，这个领域的名称叫作“人工智能”。我之所以说很不幸，是因为这个名词已经被一些乱七八糟的商品给用烂了。就像当年什么都叫“原子”，连原子笔、原子袜都出现过。事实上，今天的电脑全都只能根据指令一步一步执行而已，还谈不上什么智能。它们完全听命行事，百分之百服从你的指示。对于那些你想解释些什么，或盘算要做些什么之类的事，电脑是完全无能为力的。它们也不能自主地想出该做什么事来。

因此，在产业界就出现所谓程式设计的行业，譬如，为某家公司建立电脑化的存货管理系统。这就需要有人先把存货管理的问题统统搞清楚、列出来，对程序设计人员说明你要些什么东西，再由程序设计师为电脑设计一连串的指令，叫它依照你希望的方式去运作。我们可以利用

电脑来协助程序设计工作到什么程度，目前还不知道。最后能要求电脑设计出自己运作的程序吗？只要把我们现在告诉程序设计师的资料告诉电脑，就万事OK了吗？

小孩子学习语言的过程很自然，他只要听见别人说了什么话，再看这句话是用在什么场合，不久他就会了。但从心理学的角度来看，这是个很深奥的问题。到底其中有哪些机制在发生作用？又是如何发生作用的？事实上，每个正常的小孩都会说话。但我们大概没有办法借由研究某个机器，来解答这个问题。不过，这确实是很棒的学术研究题目，可看看至少在理论上，有没有可能找出一些机器可以进行类似工作的方式。依照这种方式，我们至少可以开始猜想，大脑里有什么样的结构和作用机制，让它能学习语言。除此之外，如果这样的一种机器（或是有个能力稍差但功能类似的东西）能真的设计出来，并且由软件来操作，这也算是一种具有自动程序设计（automatic programming）能力的装置了。



费曼摄于墨西哥海滨，1974年

在麻省理工学院，大家都觉得这类问题非常有趣。他们在这方面也做了很多先进的研究，可说前途无量。我自己也打算从明年开始，花点时间想想这一类的事。如果能就近和付雷德金讨论，一定很有价值。因此，我个人也支持邀聘的提议。

但是付雷德金教授的来访，意义还不仅如此而已。他在电脑产业和实务操作上都经验丰富，对电脑科学和电脑工业的未来发展，有卓越的见识。举例来说，他是电脑终端机连线与分时系统的先驱开拓者，麻省理工学院的系统大部分是由他建立起来的。在影像处理方面，他更是著名的专家，发明并且发展出很多特殊的电脑软件和硬件。在利用电脑软件来处理符号、代数、方程式和微积分运算方面，他也是主要的推动者。（麻省理工学院研发的这套软件系统叫Macsyma。）

付雷德金教授到我们这里来，可以扩展我们电脑科学相关科系的领域，引起更多人对电脑科学的兴趣和热情，也可以让学生有机会接触到更广阔的电脑世界。

我认为争取他造访是为我们加州理工学院开创好机会。因此，我愿意和计算机科学系那些建议邀请他来的人，共同署名推荐。我希望物理系的其他教授也愿意加入推荐行列，使他的这次访问，成为全校性的议题，增加他来访的效益。

费曼教授

副本：柯劳瑟（F.M.Clauser）教授、温斯顿教授

※米歇尔注：付雷德金教授如愿成行，造访加州理工学院1年。很巧，英国剑桥大学理论物理学家霍金（Stephen Hawking，1942～2018）也是在同一学年度（1974～1975）获聘为费尔柴尔德讲座教授，前来加州理工学院驻访。

费曼致得州大学奥伦（**Paul Olum**）教授|**1974**年**10**月**31**日

保罗·奥伦博士是费曼在普林斯顿时期的同学，也是物理学家。他在10月23日写信邀请费曼前去得州大学两星期，做几场演讲。奥伦刚离开康奈尔大学，来到得州大学担任理学院院长。他在信中说明了离开康奈尔的原因，并满怀希望来到得州，因为“参与一项开创工作，比兢兢业业守着前人的成就，设法保持其声名不遂，有创造力多了，也更吸引人”。但是在信末，奥伦却写道，由于得州大学校长突然遭到董事会撤换，不确定他自己以后会怎样，或者该怎么办。

亲爱的保罗：

真难得能听到你的消息。但我很遗憾听到你没有坚持走学术研究的

道路。幸好我并没有屈服，还死守研究岗位而不退。虽然我已经不像当年那么聪敏了，但仍然以很大的乐趣继续从事物理研究工作。

我和一位英国来的女孩子结婚了，婚姻生活美满，现在已经有两个小孩（儿子12岁，女儿6岁）。家庭生活的美妙令我心满意足，我觉得所有生活上的问题都已经解决了。

或许是充分享受到家庭的欢乐与温暖，我变得很不愿意出远门，甚至两个星期都嫌太久。因此，虽然我遗憾于不能和你见面，还是要婉拒你们邀我到奥斯汀访问的美意。

保重了

理查德·费曼

费曼致**BBC**电视公司大卫·帕特森（**David Paterson**）先生|**1974**年**11**月**19**日

亲爱的大卫：

前几天晚上，我看到你制作的寻找夸克的节目。我要恭贺你，制作了第一流的节目。我知道对你而言，这个主题有多么的困难。虽然你是外行人，但你已经完全掌握了这个主题，才能将所有的访谈内容、图片和资料等素材，安排得如此天衣无缝而又恰到好处。这给我们物理学家一个很好的范例，如何利用简单清楚的方法，把深奥难解的主题表达出来。我本来很怀疑这种方式是不是可行，而你证明了这是可行的。

我还必须承认，为自己的同事感到自豪。我看到他们表现得非常完美。物理学家毕竟不是一般人想象的那么笨拙。

当然，最重要的是，这个节目完成了一项非常困难的沟通任务。这

点我们彼此心知肚明，就不必多说了。因此，我在这里谢谢你了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致印第安纳大学编辑助理贝里（**Roberta Berry**）|**1974**年**12**月**18**日

贝里女士写信来，争取重印《科学是什么？》一文的同意书，作为大学的一门课“公民与科学”的教材。

亲爱的贝里女士：

没问题。但那是我在1966年的演讲，时间已经隔得很久了。因此，里面有些谈到女生的想法，现在可能变得相当敏感，不像以前可以随兴说说。我当然没有歧视女性的意思。或许这些年来的变化，你我都无能为力。但如果你仔细读过这份东西，仍想重印的话，我是无所谓的。就看你们了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致布须曼（**B.E.Bushman**）|**1975**年**1**月**7**日

住在加州拉古纳海滩的布须曼先生来信，问有关“部分子”（qarton）的参考资料。

亲爱的布须曼先生：

我很难推荐简单的参考资料给你。有关部分子的理论，是我在《光子强子相互作用》这本书里提到的。讨论的过程很长，叙述又非常具有

技术性。书是由班哲明（W.A.Benjamin）公司出版的。但我可以设法说得简单一点，部分子的意思是这样的：如果我们假定质子、中子、介子等这些东西都还不是基本粒子，而是由一些更基本的东西组成的。这些更基本的东西就是一些更简单的粒子，就像原子是由更简单的电子和原子核或电子、质子和中子组成的。对于这些还未知的简单粒子，我们给它一个名字，就叫部分子。接下来的问题是“部分子会是什么样子？”也就是说，它们带多少电荷，等等——如果真有这种东西的话。

到目前为止，这个概念看起来还蛮不错的，绝大多数的部分子都是夸克；但可能也有不带电的那种粒子。

诚挚的祝福

理查德·费曼

加州棕榈泉马库斯（**David A.Marcus**）致费曼|**1975**年**1**月**13**日

亲爱的费曼先生：

在你研究原子能并且设法控制它的时候，有没有考虑到，原子能究竟是人类的诅咒，还是人类的救赎？

人类利用这么巨大的力量，而你又直接贡献了心力，促成它的实现。回顾过去这段科学发展过程，你有些什么想法？

你是以恐惧还是期待的心情瞻望未来的？

我是个业余的历史学家和人类学家。你的意见对我非常珍贵。

敬爱你的

马库斯

费曼致马库斯|**1975**年**2**月**18**日

亲爱的马库斯先生：

对于你提的大问题（原子能究竟是人类的诅咒还是救赎），说真的，我只能回答不知道。我瞻望未来，既不恐惧，也不过度乐观，只是充满一种不确定的感受，不知道会怎样。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致汉密尔顿（**David Hamilton**）|**1975**年**3**月**26**日

1975年2月22日，一位名叫汉密尔顿的办公室用品零售商写信给费曼，询问他对自己某些想法的意见。这位仁兄在信件的开头表示，他先前也写信给费曼的同事盖尔曼，但没得到回信。他希望费曼能回信，因为他非常喜欢费曼在电视上的表现。

汉密尔顿的想法是，建造“8”字形的粒子加速器来研究基本粒子。他认为这种形状有很大的优点，粒子在各自的圆周轨道运转，在“8”字的中央对撞。他询问，对撞之后，粒子运动的速率是否会快过光速？因为当粒子的速率接近光速时，它们的相对速率会是光速的两倍。他还建议用叫作“火花室”的不同的粒子探测器来研究对撞产生的粒子。

亲爱的汉密尔顿先生：

你的主意非常棒，棒到事实上已经有一座这种装置在使用了。在瑞士日内瓦的欧洲粒子物理研究中心（CERN，European Organization for Nuclear Research）有一座粒子束对撞机，就是这种“8”字形的粒子加速

器。他们把质子加速到质量几乎是静质量的30倍（这是相对论性效应），速率相当接近光速，只比光速少1/2000。质子就“储备”在两个圆环里，它们一圈又一圈地飞转，在中央的地方A，有些质子会碰个正着。科学家就在这里做实验，看看会发生什么事。如果要以传统方式产生同样剧烈的撞击，我们必须让一个质子加速去撞击另一个静止的质子，那需要比“8”字形粒子加速器高60倍的能量——也就是说，须把质子加速到质量为静质量的1800倍。

虽然依照一般的方式计算，当两个质子的速率都接近光速时，它们之间的相对速率会接近光速的两倍。但是爱因斯坦已经告诉我们，这种想法只适用在运动速率很低的时候。速率接近光速时，这种想法是错的。相对论的效应是，不管从哪个角度或立场看，物体之间的相对速率绝不会超过光速。在这个例子里，相对速率只比光速慢了700万分之一。

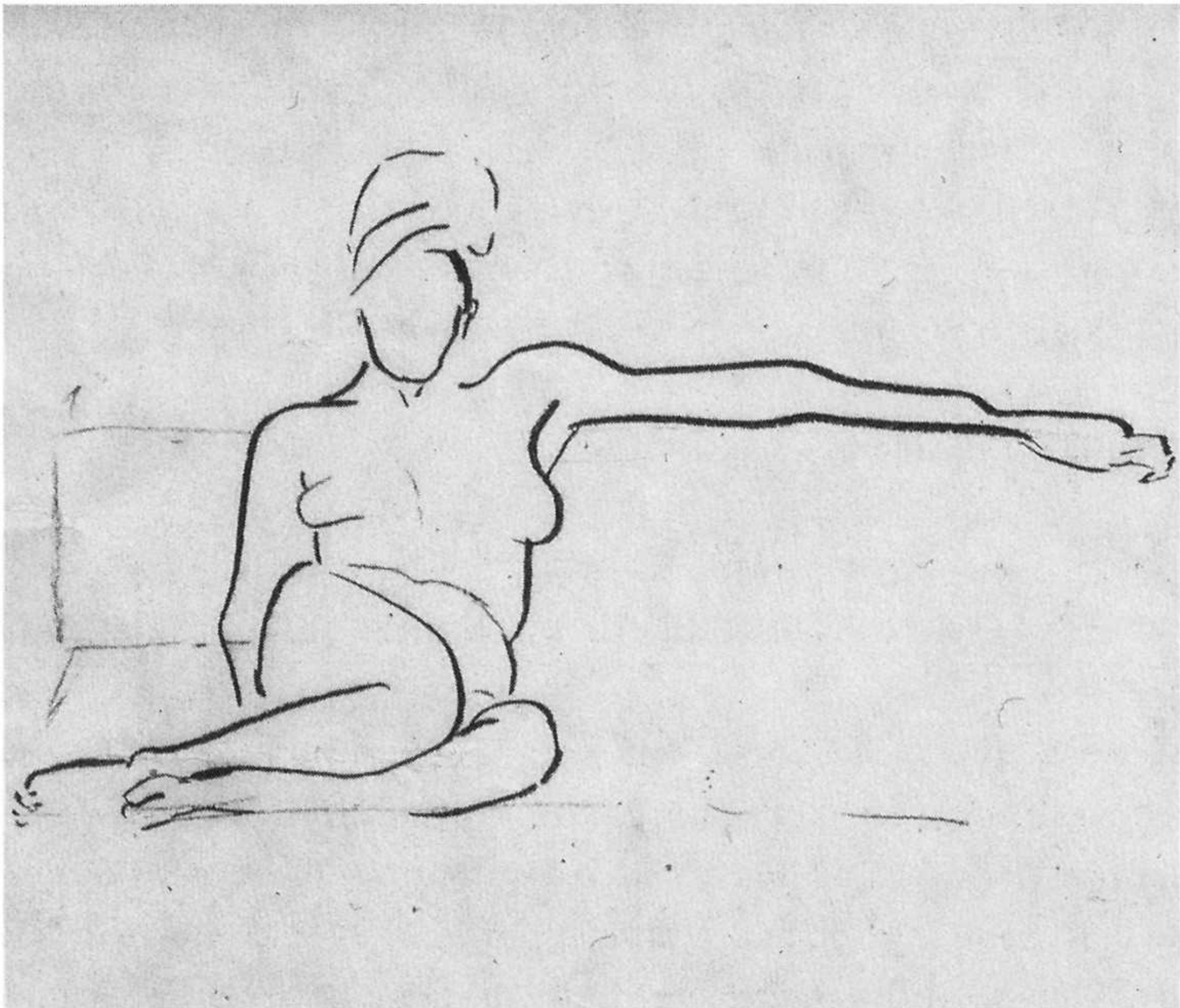
至于撞击之后产生的粒子，的确是用火花室之类的东西在探测。这个实验已经得到许多非常有趣的结果，但大家都还一头雾水，想要弄清楚到底发生了什么事。

斯坦福大学也有一座类似的粒子束对撞机，但是只有一个环，里面加速的是电子，撞击的对象是正电子。几个月前，冒出一种事先没人预料到的新粒子，叫作φ，大约是质子的3倍重。它一定会大幅度地改变我们对物质构造的观念。

因此，你的想法正是今日高能物理实验室里最先进设备的观念。我希望你不会因为已经有人想到了而觉得失望，英雄所见略同嘛。

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼（署名Ofey）的素描作品之一

费曼致麦康纳（**William L.Mcconnell**）**|1975**年**3**月**5**日

麦康纳博士曾经把圣路易地区的天才高中生和研究人员配对做研究。他认为那些智力很高的人，比一般人更容易训练，学什么都很快就上手。他知道费曼学画画之后，来信要一件作品，希望挂在办公室的墙上。

亲爱的麦康纳博士：

我不知道有所谓的“智力的一般理论”，但我还记得自己年轻的时

候，发展还蛮偏的。我虽然自然科学和数学还不错。但人文学科就很差了，并不是什么科目都很好。（幸好我爱上的女孩子，艺术修养很好，在弹钢琴和写诗方面，都有很高的才华。）我一直到年长才开始学画——从1964年开始。对我来说，打邦戈鼓从来都不能算是一种音乐。我只是打着好玩，制造一些有节奏的噪声，其中没有什么智力的意义在里面。

很抱歉我不能寄画给你。我的政策是，绝不把画给那些认为它的价值在于绘画者是个物理学家的人。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致匹兹堡的读者华纳（**Kenneth R.Warner JR.**）|**1975**年**4**月**1**日

1975年3月6日，华纳先生写信来求助。他在PBS的节目《新星》

上看到费曼，就去买了《费曼物理学讲义》回家，挣扎着设法看懂书的内容。来信的开头，自陈自己的狼狈窘态不像费曼在《新星》节目中的风流潇洒，一看就知道是专业级的大师；而自己的生活环境只允许当个业余的爱好者。他接着描述，当自己把一个问题搞清楚时，那种舒畅的喜悦。例如他在书上看到，当一个粒子撞上墙又弹回来时，传递给墙面的动量是2 mυ（m是粒子的质量，υ是速率）。这个2是因为粒子要先完全停下来，然后重新开始运动。

接下来，华纳先生就正式提问了。在书里的第15章，费曼假设在一艘等速前进的太空船中，不可能用实验方法测出自己的绝对速率，例如，比较两种时钟的滴答速率的实验。接着费曼利用这个假设，推导出一些物理定律的行为，例如当物体的运动速率愈来愈快时，它的质量会变大。华纳先生弄不懂的是费曼这个“不可能测出绝对速率”的前提。

如何验证这个前提？“我看不懂这个前提，更别提看懂其中的奥妙了”。费曼的回信如下。

亲爱的华纳先生：

你比我所知道的许多业余爱好者，懂的东西多多了。任何可以说明2mυ的2的意义的人，一定不是真的业余人士，要不然就有很大的危险可能弄假成真，变成真的非业余人士。

你看不懂书里那段和时钟有关的“归谬法”。是因为你不熟悉它的原由。“我们假设不可能”决定一艘太空船的绝对速率，这不是基于任何逻辑或必须的理由，而是为了要论证下去，要论证一个可能的自然原理。这个原理是由很多实验的结果归纳出来的——这些实验，例如迈克耳孙（A.A.Michelson，1852～1931）和莫雷（E.W.Morley，1838～1923）的实验，都是设计来度量地球的绝对速度的，但全都失败了。

后来，愚笨的人类终于觉悟[其实只有庞加莱（Henri Poincaré，1854～1912）或爱因斯坦等少数几个人想到]，这件事或许是不可能的。因此，他们就假设，如果大自然的原理就是这个样子，会发生哪些结果。我在书里，就是跟着他们的假设去论证，结果是成功的。这项假设推论出来的结果，例如“物体的运动速度变快，质量会增加”，最后在实验里获得证实。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致史丹利（**Michael Stanley**）|**1975**年**3**月**31**日

史丹利是纽约西奈山医学院药学研究所的研究生，来信询问：“如何不让创造力窒息，随时随地保持高度的战备，以新颖的方法来解决问

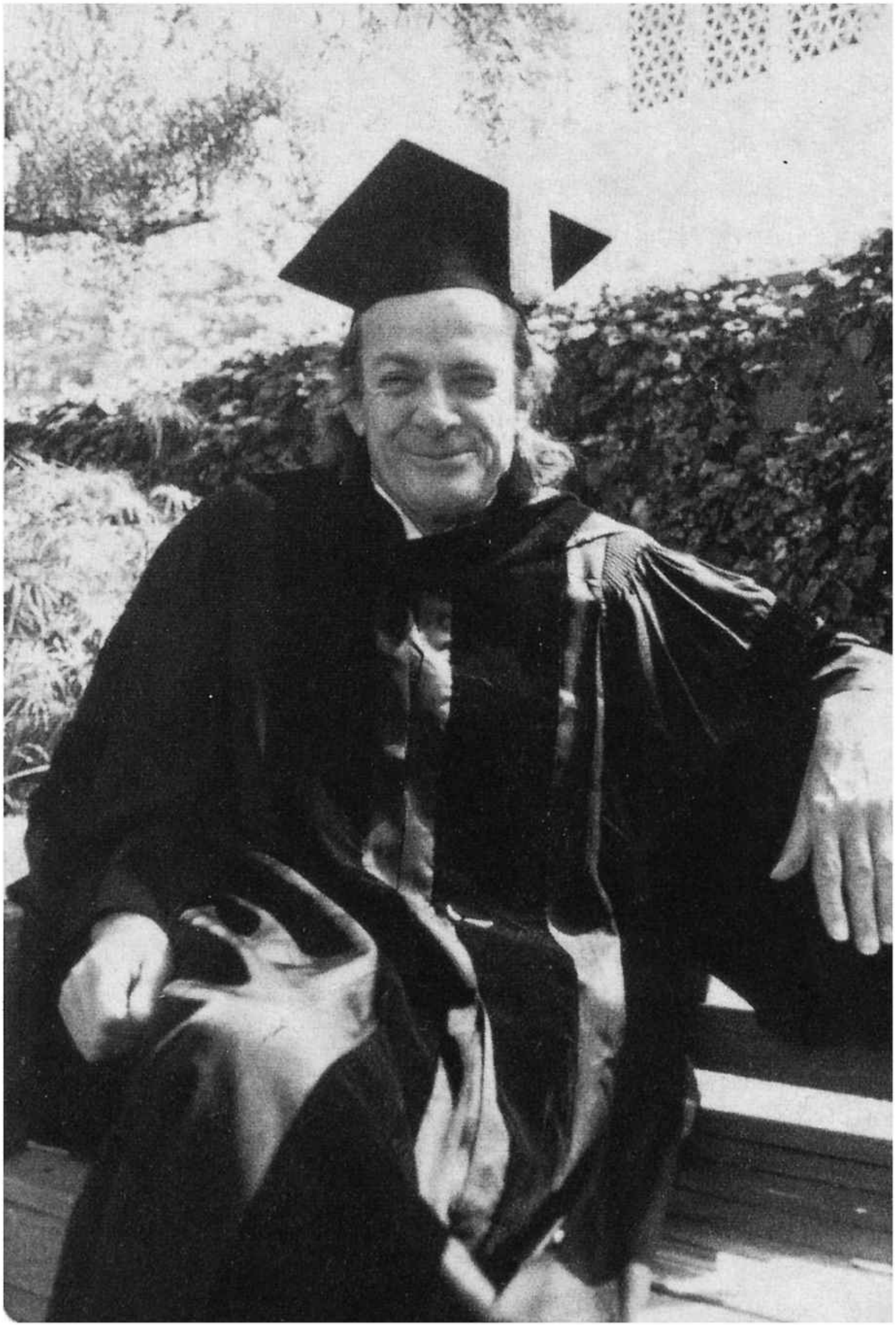
题？”

亲爱的史丹利先生：

我不知道该如何回答你的问题，我没发现有任何窒碍难行的地方。你只要在碰到任何问题时，不管是大是小，是难是易，时时想到用全新的角度来审视它就行了。你不希望“让创造力窒息”，所以，你只要时时提醒自己这一点就够了。难道你连思考的时间都没有吗？

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼在加州理工学院1975年的毕业典礼日于校园中留影

费曼致加州州长布朗（**Edmund G.Brown Jr.**）**|1975**年**6**月**23**日

亲爱的先生：

我希望你支持资质优异的学生的教育计划，签署第480号州议会法案。

我是个理论物理学家，得过1965年的诺贝尔物理学奖。我的儿子13岁，女儿7岁，都是资质优异的孩子，喜爱从事智力活动。常有人问我，该把他们送进怎样的学校，好让他们的天分可以充分发展？我总是回答："我想让他们像一般人一样，进入加州的公立学校。"因为在正常的公立学校里，他们都是很快乐的学生。不像我小时候就读的学校（纽约的公立学校），非常的沉闷、无聊。不过听说现在学校的课程，都已经大大改善了。尤其已注意到学生有各种不同的程度，于是教材多元，可以满足不同学生的需求。对于我儿子的快乐学习最有帮助的，主要就是为他这类学生而设计的特殊课程，也就是为少数资质优异的学生而设的特殊教育计划。对这些学生来说，这个计划就像沙漠里的绿洲。

让资质优异学生的智能，继续保持活力与成长，对他们是很重要的，对社会也一样。总不能让教育反而把他们的才华扼杀掉。除此之外，在和贵族化私立学校的竞争中，公立学校也应该有些平等的竞争机会。如果弄得聪明小孩的父母，只能把小孩往私立学校送，那就太可悲了。而事实上正好相反，公立学校比私立学校好得多。因为班上若有一些聪明学生的刺激，会激发其他同学产生新想法，也会鼓舞老师的教学热诚，使得学校不会变成很枯燥无味的场所。由同学提出来的意见，会让别的学生见贤思齐，可以提高学习的标准与成效。

我对加州教育的兴趣，并不只是考虑到自己的小孩。身为一个教育

工作者（我在大学教物理），我对教育有广泛的兴趣。我曾在加州的课程委员会担任过两年的课程审查工作，从1964到1965年，对教育工作还不算外行。

因此，我希望你能签署法案，让特殊教育计划能持续进行下去，使我们的学校也可以继续照顾到那些最好的学生。

诚挚的祝福

理查德·费曼

西雅图的安格莉妲（**Ilene Ungerleider**）致费曼|**1975**年，日期不详

亲爱的费曼：

我已经爱上你了。

从在《新星》上看到你，

真高兴你还活着。

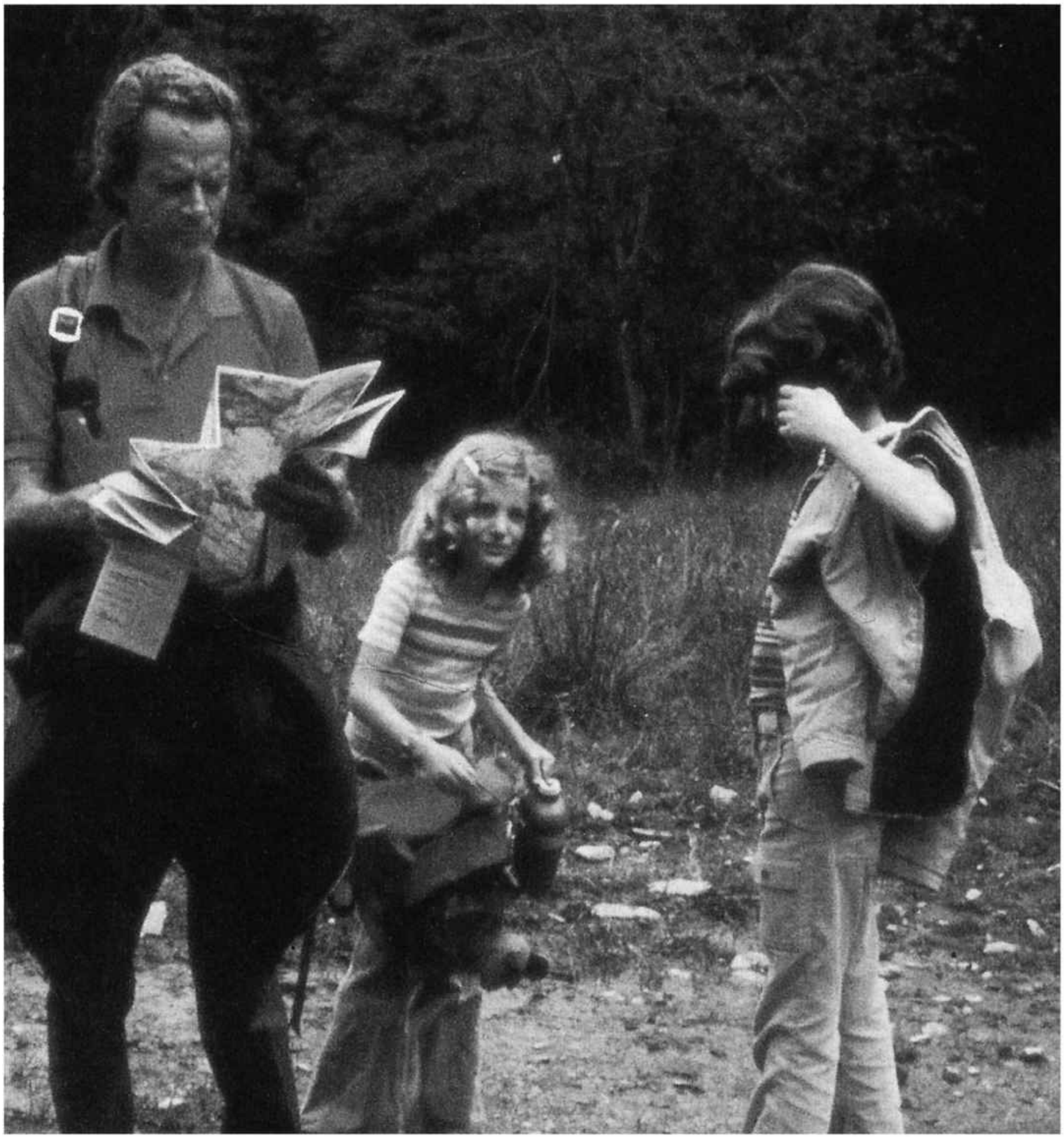
我欣赏你的机智、聪明、出色、英俊，

你是我梦幻中的男人。

是不是很多物理学家都有“粉丝”？

至少你有一个最忠实的！

安格莉妲



费曼带着儿子卡尔和女儿米歇尔到野外露营、探险。摄于1975年

费曼致安格莉妲|**1975**年**8**月**11**日

亲爱的安格莉妲：

我现在是独一无二的了——一个有人爱慕的物理学家。而爱慕者还

是只看到他上电视，就爱上了他。

谢谢你啦，哦，粉丝！现在我可以说什么都有了。以后我心满意足，不必再嫉妒一些电影明星了。

你的“粉条”

理查德·费曼

（或者我该自称什么呢？这对我来说，还是全新的经验。）

费曼致聂瓦（**William Neva**）|**1975**年**8**月**14**日

“身为外行人，有个问题一直困扰着我。我相信成千上万的其他人，或许连你在内，都有同样的困扰，就是‘隐形’这件事。真的可能制造或产生隐形的效果吗？我们可以用什么方式，让一个东西从眼前消失，不能以任何光学方法看到？”1975年7月23日，聂瓦先生写了一封信来，问费曼这个问题。

亲爱的聂瓦先生：

谢谢你的来信，和信中所提的“隐形”问题。我的建议是，你这个问题最好是去请教第一流的魔术师，也许能得到最好的答案。

我的意思并不是暗示，这个问题的答案有些滑稽或好笑，我是很认真的。魔术师最擅长的，是让一件事以非常不寻常的方式发生或表现出来，但又不违反任何物理定律，只是把整个事件以非常奇妙的方式去安排处理而已。

就我所知，没有任何物理现象，如X线透视等，能产生你所谓的隐形效应。因此，如果它是可能的，应该也会遵守一般的物理定律。这正是第一流魔术师的看家本领，利用正常的途径，产生看起来完全不可能

的效果。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致加州卢瑟福（**David Rutherford**）先生|**1975**年**8**月**14**日

卢瑟福先生好奇，问是否可能用磁带把梦境录下来？就像把影像用录像带录起来那样。

亲爱的卢瑟福先生：

这件事的困难在于：要录下脑子里的梦境，就得测量和记录脑波，但是脑波的脉冲难以转换成录像带的动画影像，尤其要完全还原梦中所见的景象，更是几乎不可能。如果可以转换，应该有一套转换程序或转换码，但我们对此毫无线索和头绪。不过我深信，梦中影像的信息量一定过于庞大，绝非任何现代的影像技术所能处理的。我打个比方，这就好像我们利用一幅画的重量，或每种颜色的使用量等资料，就想知道它原来画的是什么，一样的困难。我们还需要更详细的资料才行，譬如：哪种颜色是画在什么地方。

梦境牵涉无数神经细胞的交互作用与信号脉冲，我怀疑根本不可能去解码数量如此庞大的信号脉冲。一般的成像技术绝对是办不到的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

考克斯（**Beulah Elizabeth Cox**）致费曼|**1975**年**8**月**22**日

物理学家认为电力是由电荷周围的电力场线所产生的。高斯定律

（Gauss’s law）表示，通过任何封闭表面（如球面或立方体表面）的电场线总数，正比于里面包含的电荷总数。下面这封信讨论的，就是高斯定律。

亲爱的费曼博士：

我是弗吉尼亚州威廉与玛丽学院的学生，最近修普通物理。有一道关于高斯定律的问题是和中空的导体有关：如果一个电荷在一个中空的导体里，但并没有和导体接触，那么电荷产生的电场会不会被这个中空导体遮蔽掉？导体外还有没有电场的效应？

我读过《费曼物理学讲义》第二册第五章全部的内容，除了倒数的第二段之外，我都了解。在这段里，你说：“……封闭在导体内的静电荷分布，不会在导体外产生任何电场。”这段叙述有点含糊，似乎和你前面的说法冲突。我们老师给我看了一个很简单的装置，用来示范高斯定律。他把电荷放在一个封闭导体的中央，然后用电压计去度量，在导体外还是有电场效应存在。

你能不能解释一下，书里的那段叙述是什么意思？我实在搞不懂，希望你能回个信来。

我的地址写在上面。

诚挚的祝福

考克斯

附笔：我必须承认，写这封信还有个私人的原因。考试的时候，我把你书上的叙述写在答案纸上，老师没有给分。我后来拿着你的书去向老师讨分数，他还是不理会。如果你能澄清这个问题，我将很感激。先在此谢谢你了。

费曼致考克斯|1975年9月12日

亲爱的考克斯小姐：

你的老师没给你分数是正确的，因为你的答案错了。他不是已经把高斯定律示范给你看了？你还怀疑什么？在科学上，你应该相信逻辑和辩证，再仔细下结论，而不要相信权威。

你确实很正确地读了我的书，也了解书的内容。我弄错了，所以那段叙述是不对的。我当时所想的，可能是一个接了地的导体圆球，或者是其他把电荷效应引走的东西，使得里面的电荷不会对外面产生效应。我现在已经记不得当时在想些什么。但我弄错了。你因为相信我，也跟着受害。

我们都运气不好。

希望你将来在物理的学习过程上，有更好的运气。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致乔治（Alexander George）|1975年9月26日

1975年9月20日，纽约的乔治先生来信问：现在的科学世界里，还可不可能有“独立的重大突破”发生？当时，乔治先生还一直独自进行科学研究。但不断有人劝告他，要有新发现一定得有个研究团队。

亲爱的乔治先生：

要回答你的问题，必须先知道你研究的是物理学哪个领域。

在高能物理，由于每项实验都是如此的复杂、精巧，用到的仪器设备又是这么昂贵，非要有一个庞大的研究团队不可。

但是当得到结果之后，要想了解实验的真正意义，或是要发明某些比较聪明的理论工具，则可以由一个人单独进行。最后，那些好的理论工作，依我看来，永远是适合一个人静静地做。因为好的想法是出现在某个人的脑子里，而不是出现在研讨会的讨论上。

当然，永远要和别人保持联系，阅读文献，和同事聊天、讨论，对思想的酝酿，是绝对有帮助的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致芝加哥大学任命委员会主席希德布兰（**R.H.Hildebrand**）**|1975**年**10**月**28**日

亲爱的希德布兰教授：

这是针对10月1日来信的回复。很抱歉，我个人有个原则，就是不为任何单位评估那些曾在那个单位或仍在那个单位工作的人。我的理由是，那个单位比我更有足够的机会，好好评估那个目标人选，比我的评估更直接、更贴切。

这是我个人的原则，多年来也都一直这样做。这和你要我评估的人选，没有任何关联。

基于这个缘故，我不能有例外。否则的话，我有的人评估，有的人又不予置评，会让人误会我的不肯评估，就是负面的表态。那就违背我的本意了。

因此，很抱歉，我只好回绝你的要求。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：自从1964年10月20日回信给萨克森之后，对于类似的要求，费曼都依样画葫芦，拒绝评估那个还在他们单位里的目标人选。

第9部　不改其志|1976～1981年

得奖后10年内，如果费曼没染上“做官症”，

维斯可夫就算赌输了，须付10美元给费曼。

1978年6月，费曼60岁时，动了第一次腹腔癌手术。他在无意间注意到自己身体侧面有个肿块，就医检查才发现的。手术取出来的肿瘤已经有橄榄球那么大了，重达2.7千克。在这段时间里，费曼与温妮丝双双与癌症战斗，都以极大的勇气接受手术及后续治疗。他的生病确实减少了他的教学与通信活动。他后来对信件的选择更严，回信的比例降低了。

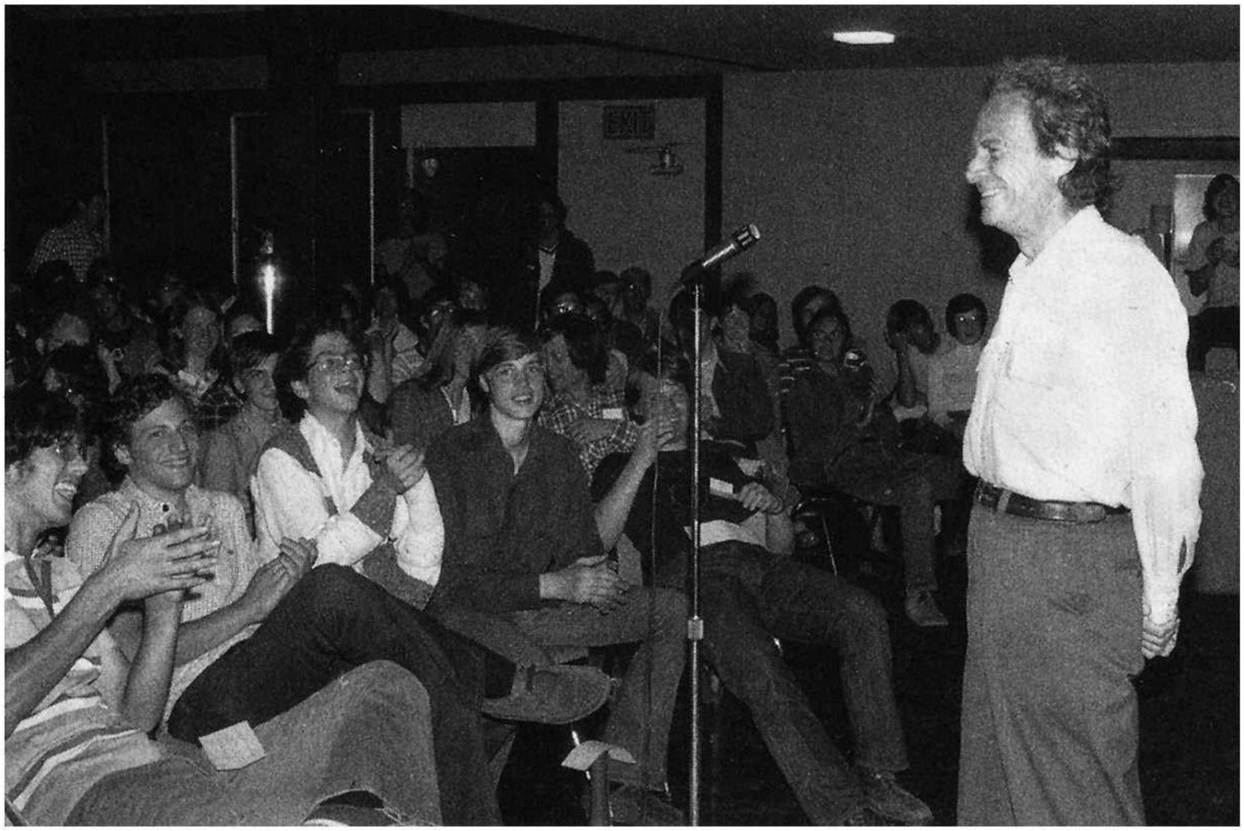
但在生涯的这个阶段，费曼在加州理工学院已经是人尽皆知的一号人物了，他的故事到处流传。动手术前后，住校的学生想表达对他的爱戴，在一整面宿舍墙壁挂起大画布，画出一座老式酒吧，里面还画了个很写实的裸女，再签上费曼的英文姓名缩写RPF（其实费曼在画作上，用的是化名Ofey）。不久之后，这个裸女从画布上给切下来，在校园里到处流传。最后这幅裸女画流传到一个演讲厅里，终于引起学校一些女职员的不悦，就给没收了。学生在写给费曼的信上表示：“虽然那个伟大的作品没有再出现过，但它长存在我们心中。我们认为你一定对它很有兴趣。它是全世界第一幅签了费曼名字的假画。”

费曼的回答是：“我自己惹的麻烦够多了，已经够我应付的。没想到我什么也没做，你们这些家伙还给我添一堆问题。”

在物理学的世界里，费曼这一阶段研究的是夸克喷注（quark jets）的实质现象分析，与他合作的是菲尔德（Rick Field），负责实际的电脑计算工作。这是一段很艰苦的过程，费曼企图证明量子色动力学（QCD, quantum chromodynamics）中的夸克禁闭（quark confinement）。唯一和这项研究有关的论文，似乎是1981年发表的《2+1维度下，杨-米尔斯（Yang-Mills）理论的定性行为》。

●中文版注：

杨–米尔斯的“杨”，是杨振宁教授。



费曼永远是最受学生爱戴的老师。1978年摄于加州理工学院

费曼致麻省理工学院物理教授维斯可夫（**Viktor Weisskopf**）**|1976**年**1**月**6**日

费曼得到诺贝尔奖之后不久，维斯可夫就和费曼打了一个赌。他认为费曼最后一定会往行政职务上发展，就如同在费曼给奥伦的信中所说的，染上“做官症”。

亲爱的教授：

我已经找到当年我们打赌的那份记录，你寄给我的赌金太高了，因此我退15美元给你。我根据那份纪录，现在写下正式的书面声明：“1976年1月6日，我费曼，目前既没有担任任何一项打赌记录内所

提到的‘负有行政责任的主管职务’，过去10年内没有担任过任何一项这类职务。因此，这项打赌的赌金应该由维斯可夫教授支付。”

诚挚的祝福

理查德·费曼

※打赌记录：

兹于1965年12月15日，理查德·费曼教授与威克特·维斯可夫教授两人，在日内瓦的欧洲粒子物理研究中心（CERN）一起吃午餐，打了一个赌。

打赌的事情和赌金如下：

在未来10年内，也就是1975年12月31日之前，如果费曼担任了任何一项“负有行政责任的主管职务”，就必须付维斯可夫10美元。

相反的，在这段时间之内，如果费曼不曾担任过任何这一类的职务，维斯可夫就算赌输了，须付10美元给费曼。

所谓“负有行政责任的主管职务”系指具有下列特性的职位：拥有这种职务的人，可以命令别人执行某些行动。而这个受命的人不论了解或不了解这项行动，也不管他喜欢或不喜欢，都必须去做。

若前述的规范发生争议，则仲裁人是寇克科尼（Giuseppe Cocconi）先生。他的决定，双方同意无条件接受。

立约人：理查德·费曼

立约人：威克特·维斯可夫

见证人：寇克科尼

牛津大学出版社助理编辑休斯（**A.M.Hughes**）致费曼|**1976**年**1**月**19**日

亲爱的先生：

牛津大学出版社正准备出版《牛津英语大辞典新词补编》第三册。因为你是“部分子”这个词的创造者，我们想请教你这个词的起源资料。

《牛津英语大辞典新词补编》是一部史实字典，相当考究单词短语的起源，会注明这个字词最早在什么地方出现。然而“部分子”这个词，起源却很令人困惑。我发现它出现在1969年9月25日这一期的《物理评论》第1975页，也发现它是你在1969年9月5日与6日的高能对撞研讨会上创造出来的词（会议公报上记载着这件事，公报是由杨振宁博士等人编纂的）。但是我也在稍早戴林兹（R.H.Dalintz）的皇家学会贝克讲座报告（刊登于1969年7月26日的《新科学家》杂志）上发现这个词，不过这只能算间接证据。

该期《新科学家》的第679页，记载戴林兹说：“……所谓费曼的‘部分子’理论。”因此，我想请问，有没有什么文献比《新科学家》更早出现“部分子”字眼的，否则戴林兹为何这样说？但我在你早年发表的论文里，找不到这个词。或许你在那个时候，还没有准备要发表。如果发表过，麻烦把确切的文献寄给我，我将极为感谢。

另外，《新词补编》为“部分子”所下的定义，我也一并写在这里供你参考，看看你有没有什么意见。“部分子是一种假想的粒子，是核子的组成单元。费曼用它来解释核子非弹性散射高能电子的现象”。

但愿我的请求，不会给你造成太大的困扰，也希望能得到你的回音，相信一定很有意思。

信任你的

休斯，科学助理编辑

费曼致休斯|**1976**年**2**月**4**日

亲爱的休斯先生：

这是回你1月19日编号O.C./RWB的信。你对“部分子”所给的定义，和对它的考证工作，很令人佩服。我不记得有什么更早的文献了。我在口头的讨论上，虽然用得更早，但就我所知，你提到的已经是最早出现的一些书面资料了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致华沙大学理论物理研究所所长楚劳特曼（**Andzej Trautman**）|**1976**年**2**月**4**日

亲爱的楚劳特曼教授：

我们这里有个年轻的波兰女学生，叫凯尔珂芙丝卡，表现非常好。她在这里的第一件事就是参加转学考试，看看是否符合我们学校的要求。因为我们学校的声誉相当好，想来的学生实在太多了，远远超出我们能够接受的额度。因此，我们订了很高的入学资格要求。凯尔珂芙丝卡小姐考得非常好，成绩非常高，我们学校立刻录取了她。事后证实，她果然杰出，很快就成为班上的拔尖人物。她正是我们这种学校最想要培养的学生。教到这样优秀的学生，我们觉得加州理工学院的优异与独特性，才真正施展开来，使得学生的科学潜能充分发展，延伸到无止境的前方。

如果这种美事被迫中断，使我们学校和这种优秀学生的关系无法延续下去，将意味着人类潜能的损失。这可是一场悲剧。

这件事之所以引起我的关心，是因为她的签证出了一点问题，使她无法继续留在美国完成学业。我写信给你，是希望你或许能够、也愿意帮助一位波兰同胞，发展出全部的才华，成为一个对社会有用的人。你能不能帮助她解决在签证上遭遇的问题？非常感谢你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：楚劳特曼教授回信赞同，凯尔珂芙丝卡小姐最好能留在加州理工学院完成学业，同时通知她重填一份新的申请书，就可让护照及签证延期。

费曼致**BBC**科学节目首席制作人大卫·帕特森（**David Paterson**）**|1976**年**2**月**11**日

亲爱的大卫：

很高兴听到你的消息。我阅读了你随信所附的“时间旅行”资料，但只看到第二段就没有再看下去。因为我也相信，时间旅行是不可能的事情，而且我相信，我的同事也和我持一样的看法。那些科幻小说的作者，误解了我的观点，说电子的过去就是正电子。他们不懂科学理论和因果原理是完全一致的，不能据此推论说，我们有可能在时间当中旅行，回到过去。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致《加州科技》杂志编辑|**1976**年**2**月**27**日

1974年，加州理工学院的文学教授一致通过，建议聘英国文学教授勒蓓尔（Jenijoy La Belle）为终身教授职。但人文学院的院长哈腾贝克（Robert Huttenback）驳回了推荐案，他改变终身教授的审核标准（结果勒蓓尔仍然符合），也不接受仲裁（这会对勒蓓尔有利）。两性工作平等委员会的决议也支持勒蓓尔教授。最后，勒蓓尔教授和学校达成协议，在1979年成为加州理工学院第一位女性终身教授。

我想评论一下你们杂志的做法。你们在本期的首页，给出勒蓓尔教授对这个伤感情事件的复杂观点。上一期，则已经刊出整个事件的完整版，非常翔实而清晰地叙述了整个事件，勒蓓尔小姐已不再需要答复其他访问了。我有个同事把你们的两份报道拿来给我看，然后说了一句："真是会粉饰太平！"我对整个事件的过程和发展，都一清二楚。因此知道他说的是事实。但他对这件事并没有亲身参与，他怎么会知道你们的报道是在粉饰太平？他笑着提醒我，他本身是个物理学家，很会判断不同物理实验的证据。

在物理世界里，真相很少是完全清楚的，更不用说那些和人有关的事了，怎么可能会如此清晰呢？因此，没有任何疑点的事，不可能会是事实。

我在当初文学教授决定推荐勒蓓尔的时候，就认识她了。是她介绍我如何在图书馆里搜寻文学资料，并且介绍我去杭廷顿图书馆，让我体会手捧着一本牛顿所写的古籍的喜悦。我可以直接了解牛顿到底知道多少、不知道多少，什么是他用的而今天我们仍在使用的表示法。如果勒蓓尔离开加州理工学院，我会非常难过，那会是加州理工学院的重大损失。

我对英国文学所知有限，因此很难做出适当的评论。但我一开始就

知道，加州理工学院的人文学科领域也有很严格的标准，就是“没发表论文就淘汰”（publish or perish），或者应该说是“若不能在一流学术期刊上发表论文，就淘汰出局”。但现在，有人已经在顶尖期刊上发表论文了，为什么还会受到打压或排挤呢？

不过最让我震惊的，是在这整个事件中，那些英国文学终身教授所受到的对待。我很高兴勒蓓尔的怒火，终于让整件事曝光。从来没有人注意到他们，他们的意见和想法也没有人在意。他们为我们和我们的学生，付出这么多的心力，使我们这里更富有人文气息，更适合居留，就如同人文学院成立的宗旨。我写这封信的目的，就是要告诉他们，虽然我对他们研究的东西，无知得可怜（我相信，他们对我的专业领域所知道的，比我对他们专业领域所知道的东西多得多），我仍然对他们表达高度的敬意，感谢他们对学校和学生的贡献；并且对于他们受到的漠视，感到抱歉与遗憾。

写这样一封信有点甘冒大不韪。如果你对某个措施表示了意见，那些躲在校园一角、握有生杀大权的臭猫鼠（秘书小姐，请不要改动这个字眼，我想让他们知道我的文学造诣有多差，这学校多么需要优秀的文学教授），说不定会把你逮进委员会，弄得你一身臭。下决心是很困难的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致苏联国家科学院物理研究所金斯伯格（**V.L.Ginsburg**）**|1976**年**3**月**16**日

亲爱的金斯伯格教授：

我听说明年你可能有机会到我们加州理工学院来访问。

这个消息让我非常高兴。我们又可以像上次在波兰碰面那样，（1961年吧？）交换一些想法，互相学习一些不同的东西。这次的相处时间会长得多，我们可以谈的物理问题势必多很多，也将深入得多。这里有很多人抱持和我同样的想法，对你的来访也都寄予厚望。从我阅读的科学期刊和我在波兰与匈牙利碰到的物理学家来看，苏联物理学界对很多问题有自己一套独立的见解，也有许多和我们不同的想法。最起码，我们两边强调的重点就完全不同。因此，我期望这种意见交换会有很丰硕的成果。

请接受我们的邀请而且务必前来。我不想期望落空。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致**BBC**艾利奥特（**John Elliot**）**|1976**年**4**月**7**日

霍耶（Fred Hoyle，1915～2001）是英国有名的天文物理学家，也是剑桥大学教授。他有许多充满创意的点子，有些非常成功（例如下面这封信里所说的，重元素是在恒星内部燃烧核燃料产生的），也有很多是错的。他最为人所知的事，是反对宇宙起源的大爆炸说。他认为宇宙是稳恒态且具有无限寿命的。他主张物质不断从星际或星系间的太空里产生，当宇宙不断膨胀时，留下的空隙就由这些物质填补。20世纪60年代的天文观测，推翻了这个稳恒态理论，大爆炸学说又再度获得证实。

由于霍耶常到加州理工学院访问，所以费曼也认识他，并且在朋友间的交谈里，对他相当肯定。1976年，BBC邀请费曼参加一个和霍耶有关的影片制作。

亲爱的艾利奥特先生：

我觉得并不合适。我不认为自己对霍耶的认识或了解很清楚，可以在摄影机前面，对他的生活侃侃而谈。我曾设法想象自己能够说些什么，但发现自己对他或其他人到底做过什么并没有那么确定。譬如你要我谈谈他在“基本粒子研究上做过的事”，但我真的不知道他在这方面做过什么事，也不知道你说的是什么。

我所能想到的一件可能合适提起的事件，是他第一次到加州理工学院拜访时，曾举行过一连串的讨论会。当时他谈道，如果所有的元素都是来自氢原子的话（正如他的稳恒态理论所建议的），那么重元素很可能产生于恒星的内部。他还非常仔细地分析整个过程，把相关细节都描述出来，相当吸引人。霍耶的结论是，如果碳原子核没有一个762万eV的能级，那么这件事就不可能发生。由于他非常相信自己的氢原子理论，因此声称碳原子核一定会有一个这样的能级。

我们对这件事的印象都非常深刻。要找出某个元素的原子核能级，居然不是在实验室观测原子核的各种作用，而是看天上的恒星。做这种事的人真是勇气可嘉，值得大书特书。

他果然是对的，不久之后，这个能级就给人发现了。

我偶尔有几次机会，和他与富勒（William Fowler，1911～1995，1983年诺贝尔物理学奖得主）一起讨论其他的天文物理问题。霍耶也做了一些和宇宙学或引力有关的场论，这是不是你所谓的粒子研究工作？但我从来就不会认为他这些理论是对的，他不久也放弃了这些理论。我不认为你们要的，会是我对这些理论的技术性评估。

当然，就个人来说，我是很喜欢这家伙，也很乐意促成这件美事。但是有那么多人和霍耶有更亲密的关系与更深入的了解，因此，我有点奇怪你怎么会想到要我来谈他。或许你们误会我和霍耶关系非常亲密。其实倒没有。

诚挚的祝福

理查德·费曼

加州的大学生明古伦（**Mark Minguillon**）致费曼|**1976**年**4**月**14**日

亲爱的费曼博士：

我是个19岁的物理学生，研究过很多有关你，以及你对科学的那些有名的贡献的事。就我的了解，你曾经参加原子弹的研制计划，与其他科学家共同铺设了通往核能时代的道路。

在我的化学课里，我们开始讨论当年的“曼哈顿工程”，以及当年参加“曼哈顿工程”的科学家，哪些人现在改变了立场，开始反对原子能或核能。

如果没有记错的话，我在不久之前才读到一篇文章，里面提到一件事，说你到今天还是保持着支持核能发展的立场。但我的老师却不以为然，认为事实可能并非如此。

费曼博士，如果你能在百忙之中，拨出一点点时间，来澄清我和老师之间这点小小的争论，我将非常感谢你。而且你对核能的看法，可能会启发全班同学更深层的认识。

感谢你的宝贵时间。

尊敬你的

明古伦

费曼致明古伦|**1976**年**4**月**23**日

亲爱的明古伦先生：

要讨论原子弹和核能之间这种既复杂又不确定的关系，要花的可不是“一点点”我的宝贵时间而已。做个很简单的结论，我不觉得核能有什么问题，除了它被有意地用来为非作歹之外，譬如引爆、搞破坏、偷核燃料去做原子弹，或者是使用过的核燃料棒辐射外泄，等等。但所有这些，都只是技术或工程上的问题，我们大部分都能够解决，因此我认为风险是可以控制的。如果经济上有必要的话，应该要发展核能。至于原子弹和核武器的问题，则复杂得多。我没有办法用简短扼要的陈述，把我的观点讲清楚。

这样说吧，我想，在你和老师的争论当中，或许是你对。但这并不表示，我们知道什么是对的。只因为费曼说他支持核能，就没有值得我们注意或争论的事了吗？那么，我可以再告诉你（因为我知道），费曼根本就搞不清楚他自己在说些什么。他知道一些别的事（或许吧），但对这件事没把握。

别管那些“权威人士”说什么，要自己想一想。

诚挚的祝福

理查德·费曼

明古伦致费曼|**1976**年**7**月**31**日

几个月之后，明古伦又因为别的事情。写信给费曼。

亲爱的费曼博士：

我是个19岁的物理学生，在加州南部的一所学院就读。在我选读物理学的某些特别领域，好当作主修科目时，却发生了一些问题。

我对物理学的兴趣出现于1972年。那一年，我在西班牙的一所学校里，碰到一位很了不起的物理教授，我的兴趣才被确定下来。我决定日后把物理当作自己的生涯目标。

我开始很有兴趣地阅读一些早期的科学发展资料，尤其是有关原子和原子核之类的。玻尔、汤姆孙、海森伯和查德威克，都成了我心目中的英雄。很快的，我就对原子核和粒子物理特别感兴趣。当然，我并没有这方面的任何正式学位，所以我现在才来修物理。

费曼博士，我的问题是这样的：所有我能接触到的人，对于粒子物理这个领域，都只是一知半解的。我得不到和这领域有关的正确资讯，不知道它还是不是一个很有发展前景的开放性领域，还是一个快要饱和、路子愈来愈窄的领域。没有人知道，是不是那些能够做的研究，都已经有人做过了。这虽然是我很喜欢的领域，但会不会该做的事都已经让别人做掉了，只剩个空壳子？

我以前也写信给你，是因为我知道你研究过核物理（谁能忘掉你在洛斯阿拉莫斯期间，对原子弹有多大的贡献）和粒子物理，可能是当今最值得尊敬的一位科学家。如果有谁知道我问题的答案，那个人一定非您莫属了。我很抱歉耽误你的宝贵时间。但似乎没有人愿意或能够帮我这个忙。如果你能帮助，我将万分感激。

非常非常感谢你。

最尊敬你的

明古伦

●中文版注：

玻尔（Nies　Bohr，1885～1962）是丹麦物理学家，以卢瑟福的原

子模型为基础，提出氢原子结构理论。

汤姆孙（Joseph J.Thomson，1856～1940）是英国物理学家，电子的发现人。

海森伯（Werner Heisenberg，1901～1976）是德国理论物理学家，创立量子力学，提出“不确定性原理”。

查德威克（James Chadwick，189l～1974）是英国物理学家，中子的发现人。

此四人都是诺贝尔物理学奖得主。

The reason I write to you now is because I know you have done research into nuclear physics (who can forget your great contributions to the Manhattan Project during your stay at Los Alamos) and particle physics and you are probably one of today's most respected physicists. If any one should know, you would.

I am sorry to have to ask you for some of your time, but no one seems to want to, or be able to, help me. I would be very grateful if you would.

Thank you very much Dr. Feynman.

Most respectfully yours,

Mark Minguillon

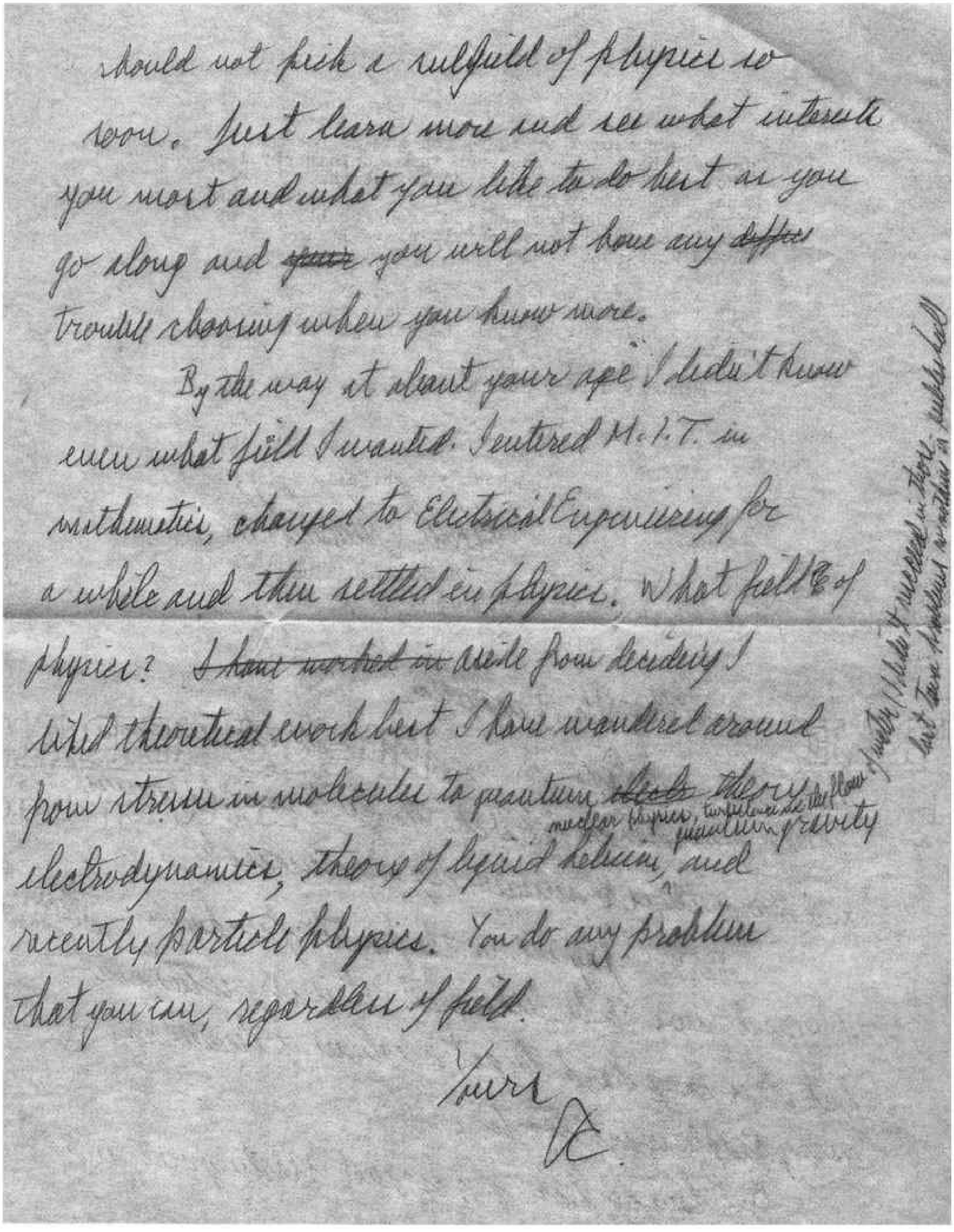
Mark Minguillon

Dear ~~Mark~~ Mr. Minguillon:

Relax. In no field is all the research done. ~~New discove~~ Research leads to new discoveries and new questions to answer by more research.

Particle physics is the frontier of unknown physical laws to be discovered. It is very active and completely open now—but it is ~~very~~ hard to get a job in it because so many people want ~~too~~ to.

But have no fear—you are just starting out and



should not pick a subfield of physics so soon. Just learn more and see what interests you most and what you like to do best as you go along and ~~you~~ you will not have any ~~diffic~~ trouble choosing when you know more.

By the way at about your age I didn't know even what field I wanted. I entered M.I.T. in mathematics, changed to Electrical Engineering for a while and then settled in physics. What fields of physics? ~~I have worked in~~ Aside from deciding I liked theoretical work best I have wandered around from stress in molecules to quantum ~~elec~~ theory electrodynamics, theory of liquid helium, nuclear physics, turbulence in the flow of fluids (I didn't succeed in those, but two problems in [illegible] succeeded), quantum gravity and recently particle physics. You do any problem that you can, regardless of field.

Yours

RF.

费曼致明古伦|**1976**年**8**月**16**日

亲爱的明古伦先生：

放轻松，没有哪个领域是所有的研究工作都让人做光了的。每个研究都会产生新的发现和新的问题，需要更多的研究才能够回答。

粒子物理是那些有待发现的物理定律的最前线，是个非常有活力而完全开放的领域。但是从事这个领域的人太多了，可能难找到工作。

不过别担心，你才刚开始起步，时间还早得很呢，不必太早就选定某个物理主题。尽量多学点东西，看看什么东西最吸引你，而你做什么事觉得最开心。你知道得愈多，选择起来就愈容易。

另外，当我在你这个年纪的时候，根本不知道自己以后想进入哪个研究领域。我进麻省理工学院读数学，转到电机工程一阵子，最后才在物理系定了下来。物理系要从事哪个领域呢？因为我喜欢理论工作，我从分子的应力到量子理论的电动力学都涉猎。我也研究液态氦的理论、核物理、水流的湍流现象（最后这两项研究不太成功，因此没有发表什么论文）以及最近在研究的粒子物理。

你不必理会什么物理领域，处理你能解决的任何问题就行了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致哈佛大学物理系柯尔曼（**Sidney Coleman**）教授|**1976**年**8**月**13**日

东方基金会有意赞助举办物理研讨会。费曼与其他两位物理学家，

丘氏（Geoffey Chew）和芬克斯坦（David Finkelstein）都推荐柯尔曼教授为研讨会的咨询顾问。柯尔曼的来信，第一项提到，研讨会将广开善门，下列人士如果愿意来，都欢迎参加……丘氏、柯尔曼……

费曼、芬克斯坦……李政道……拉比……至于研讨会的名称，则打算采用《量子场论的最新态势》。虽然费曼和丘氏并没有从事这方面的研究，但大家还是热烈地欢迎他们参加。因为有他们与会，大家会觉得很开心。

亲爱的柯尔曼：

关于东方基金会的研讨会，我认为规模应该小一些，只邀请那些真正研究量子场论的专家来出席。对于你信里谈的第一项，就是邀请名单的事。我倒想请教，为什么要邀费曼那个家伙？就我所知，他在这个领域里并没有做什么研究，也没有比别人高明的地方。如果你能再精简一下名单，只邀请这个领域的核心专家，我或许会考虑列席。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：柯尔曼教授回信说，名单经过再精简，已经把“费曼”给删掉了，因此再度邀请他参加。费曼列席了研讨会。

费曼致密歇根州立大学英语系卡莱索（**E.Fred Carlisle**）教授|**1977**年**1**月**24**日

密歇根州立大学想为大学部的理工科学生，开一门特别的科学文章写作课程。他们打算把《费曼物理学讲义》里面的一章《引力理论》，选入科学文选。

亲爱的卡莱索教授：

你来信说，想把《费曼物理学讲义》里的那篇《引力理论》，放入科学文选里。我当然同意，希望你认为它有用。

但是你的课程是英文写作，我想你对这篇文章是怎么写成的，一定很感兴趣。它本来是我的口语演讲（当时我手里只有一页很简短的大纲），然后录音下来，接着有人——主要是雷顿，把它整理成流畅可读的文稿，有些部分特意删除，有些内容经过增补或重整，只有一部分非常接近原来的口语。这是一件大工程，因为我的英文不好，很难说出读得通的东西。然后我再细读一遍，看看有没有什么需要进一步修改的地方……接下来，我就不管这些了，又开始准备另一次演讲的内容。

由于著作权属于加州理工学院，我会要求校方寄一份同意书给你，作为凭据。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致帕沙迪纳联合学区办公室主任柯帝尼斯（Ramon Cortines）|1977年4月25日

亲爱的柯帝尼斯先生：

我的朋友拉夫·雷顿（Ralph Leighton）已经和你谈过这个问题，但他建议我还是正式写封信给你。我的儿子卡尔在这个学年度进入约翰穆尔高中。根据加州的法律，他要上卫生教育和驾驶课程。另外，根据帕沙迪纳联合学区的规定，他也要上消费者保护的课程。他必须在16岁这一年，上完这些课程。但因为他早读，比同年龄的儿童提早一年就学，因此，实际上他比同班同学要小一岁。

为了要在11年级的时候，同时上健康教育、驾驶和消费者保护课，卡尔必须放弃一门选修课程。他目前选修的3门课是物理、微积分和拉丁文。当然，他也可以在暑假上暑期班，把其中一门课修完。但因为他上课非常认真，我觉得年轻孩子每年至少应该有3个月的完整假期来充

电，暂时把功课摆在一边，好释放压力重新出发。

我相信卡尔够聪明，有足够的能力在较短的时间内，把健康教育、驾驶和消费者保护这3门课学会，而不需要花一整年的课程时间。我发现加州大学伯克莱分校附设的工艺学校，有提供健康教育和驾驶课的函授课程。学生只要按时上交作业，最后参加一项鉴定考试（可在自己的中学由原科目的老师考，或由公立图书馆的合格人员主考），就可以获得承认。而雷顿先生是帕沙迪纳联合学区的合格教师，他告诉我所有这些课程的内容，都可以在学区教育委员会的档案里找到。

因此，我想请你允许我的儿子，参加健康教育和驾驶的函授课程，至于消费者保护课程，则以鉴定考试来代替。当然所有的课程内容都不会遗漏。如果可以这样，我会亲自监督卡尔在学校的选课安排，和学校老师好好商量。当然，如果你有其他建议，我也乐于接受。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：拉夫·雷顿是罗伯·雷顿的儿子。罗伯·雷顿是加州理工学院的教授，也是《费曼物理学讲义》的编辑。拉夫·雷顿则是《别逗了，费曼先生》《你管别人怎么想》的共同著作人。



费曼1977年的全家出游

费曼致比利时德佛瑞斯（**J.T.Devreese**）**|1977**年**10**月**26**日

德佛瑞斯教授写信来告诉费曼，说他们在高等研究院主办的路径积分研讨会上，都提到费曼，很思念费曼。研讨会的公报预计在1978年初发行。由于费曼是路径积分法的开山祖师，他们想把研讨会的论文集献给费曼，当作他60岁生日的贺礼。如果愿意为这本论文集写个跋，大家会觉得非常光荣。

亲爱的德佛瑞斯教授：

我非常遗憾无法参加你们的研讨会。因为那段时间，我太太和我正好带着孩子，在美国西部和加拿大玩。有很多次，当我在野外躺进睡袋时，脑子里一直在想：你们的研讨会开得如何了，如果我能出席，肯定

会很棒的。

会议的论文集若是能寄来，我一定很开心，也一定会好好阅读。先谢谢你了，一定要记得寄一本给我。

你想把论文集当作我60岁的生日礼物，真是太好了。但如果要我做些什么事（譬如要写些什么的，跛吗），那我的喜悦会减少很多。这不太公平，我是个大懒人，不想动笔。

你是一番好意，但其实不需要正式做些什么事来为我贺寿。你、桑伯和很多参加研讨会的人，早已经直接为我增添很大的光彩了。你们注意到我的研究工作，而且把它进一步发扬光大。我能够看到别人为这份工作所做的努力，而且还集结成册，收录在同一本研讨会论文集里，真是高兴得不得了。对我而言，这表示我当年（1914年）的发明是有用的，直到今天，还有很多物理学家在运用。还有什么比这个更光荣的呢？

再次谢谢你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

施特劳斯（**Lewis H.Strauss**）致费曼|**1977**年**8**月**2**日

亲爱的费曼博士：

这封信之所以会写给你，是因为你曾是爱因斯坦奖的得奖人。

爱因斯坦奖在以下的年份，颁给了这些得奖人：

1951年　施温格教授（与费曼同一年获颁诺贝尔物理学奖）

1951年　哥德尔教授（Kurt　Godel，1906～1978，原籍奥地利的美国数学大师）

1954年　费曼博士

1958年　泰勒博士（美国氢弹之父）

1959年　厉比博士（Willard　F.Libby，1908～1980，1960年诺贝尔化学奖得主）

1960年　齐拉德博士（Leo　Szilard，1898～1964，生于匈牙利的美国物理学家，原子弹构想者之一）

1961年　阿瓦雷兹博士（Luis Alvarez，1911～1988，1968年诺贝尔物理学奖得主）

1962年　华伦博士（Shields Warren，1898～1980，病理学家，防制游离辐射的专家）

1965年　惠勒博士（费曼的老师，“黑洞”一词的发明人，量子引力论的主要创始人之一）

1967年　罗森布鲁斯博士（Marshall　N.Rosenbluth，1927～2003，等离子体物理的大师）

1970年　奈曼博士（Yuval　Ne’eman，促成粒子物理革命的功臣之一）

1972年　魏格纳博士（Engene P.Wigner，1902～1995，1963年诺贝尔物理学奖得主）

后来由于创办这个奖项的施特劳斯纪念基金会负责人，施特劳斯先

生（Lewis L.Strauss）去世，这个奖项也停办了一阵子。

现在，已经过一段时间的沉淀，可能和奖金有关的细节问题也得到完满的解决，因此今年又决定恢复这个奖项。我们已经注意到剑桥大学霍金博士所做的理论研究。他的研究领域正好是爱因斯坦本人长久努力的目标。

你认不认为霍金博士的研究很重要，可以得到爱因斯坦奖？我们若颁奖给他，会不会让别人觉得他是因为同情票而得奖？你的脑海里有没有比他更适当的得奖人选？你若惠赐意见，我们将十分感激。

诚挚的祝福

施特劳斯

费曼致施特劳斯|**1977**年**8**月**9**日

亲爱的施特劳斯先生：

这是回复你8月2日的来信。我非常同意霍金博士的成就值得获颁爱因斯坦奖。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致康奈尔大学化学系费雪（**Michael E.Fisher**）|**1977**年**11**月**15**日

费雪博士正和荣格特海根斯（Christopher Longuet-Higgins）合作，为1968年诺贝尔化学奖得主翁萨格（Lars Onsager，1903～1976）写传记。写信来问费曼有没有相关的回忆或资料。

亲爱的费雪博士：

你要我提供一些和翁萨格有关的个人互动经验，我仅就记忆所及的事告诉你，但确切的日期和时间已经不能确定了。我也不想间接谈些阅读他论文得到的感受，只谈我直接和他本人接触过的事。

我们的第一次接触大约是1951年，在日本举行的第一次理论物理研讨会上。我刚完成一项和液态氦的特性有关的理论。这对我是个全新的领域，因此在研讨会上，很多这领域的大高手，我都是初次见到。就在轮到我报告的前一天，晚餐时我正好和翁萨格邻座。他问我："这么说，你认为自己找到一项和液态氦有关的理论啰？"我傻傻地回了一句"是呀！"他没再多说什么，只回了一声"哦！"。我当时觉得他似乎不相信我做得到，认为我的理论只是另一篇胡扯。

第二天演讲的时候，我很平静地解释了所有能解释的东西，只除了一点。但我也坦白道歉，承认自己对于氦相变时的热力学函数特性，还没有很深入的了解，还有一些东西是无力解释的。轮到听众提问的时候，翁萨格首先发难。"费曼先生是我们这个领域的新人，显然有些事情他并不知道，因此我们应该告诉他。"我听到这里，整个人呆掉了，心里升起一股寒意，比昨天晚上的感觉更糟糕。我哪里有问题？有什么愚笨的错误让他逮到？接着他说："所以我认为，我们应该告诉他，氦接近相变时的热力学函数特性，其实根本还没有人能确实了解。不仅是氦如此，对所有物质都差不多是这个样子。因此，他对液态氦的这一部分不太清楚，完全不影响他的论文的价值，也不减低他对其他现象的了解。"

这时，我才知道。原来他是这样一位亲切和善的长者。他的不喜多言，让我误会他是个不友善的人。这之后，我们又在不同的国际会议场合碰了几次面，也常交谈，对不同的物理问题交换一些意见（如：相变、湍流、氦、超导性）。和我比起来，他的话少多了，但言简意赅，

短短的话里含有许多重要的想法。而他总是自然而然地流露出一股真诚的善意。

有一次，我和他在讨论事情的时候，忽然有个年轻人，跑过来对我们两人解释他对于超导性的想法。我一时听不懂这小伙子在说些什么，因此，我想他一定是在胡说八道（这是我的坏习惯）。但我很惊讶地听见翁萨格居然说："不错，听起来这似乎是问题的答案。"难道谜样的超导性问题，已经有答案了吗？我认为当时的那个年轻人可能是库珀（Leon N.Cooper，1930～，提出BCS超导理论的人之一，1972年诺贝尔物理学奖得主），你能不能查一查？

说得更深入一些，和翁萨格的相处，至少在下面几项工作上影响了我。他对液态电介质中相互作用偶极的研究，解决了一个令大家非常困扰的物理问题。于是我仔细研究，以了解液态氦里的转子相互作用。我会对他所提"二维尺度不存在湍流"的定理，非常有兴趣，他为此还推导出相关的哈密顿函数。最后，也是最直接的，我独立发现了量子化的涡旋，并不知道其实他在之前就已经发现了。但他处理这个发现的方式，正是标准的翁萨格作风——他并没有写论文发表这项发现，而只是在某次国际研讨会上，有个人就完全不同的题目发表报告，后来在讨论时，翁萨格叙述了他的发现，让会议记录记了下来。当然，对我而言，发现自己和翁萨格得到相同的结论，是一次重大的鼓舞，至少表示自己走上了正确的方向。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致哈佛大学数学系吉尔（**Tepper L.Gill**）**|1977**年**10**月**10**日

亲爱的吉尔博士：

谢谢你把自己做的无限张量积的研究论文寄给我。

我对现代数学的研究已经相当陌生，因此没办法了解它。但是我很高兴知道，自己起头的东西连专业的数学家都很感兴趣。发现有序算子是一件很好玩的事（时间就是一种非常特殊的有序参数）。我从一开始，就知道它们可能的用途应该很多，可以和随机算子分庭抗礼。我花了很多时间，想找出公式，尝试解决随机搅拌涂料的混合率问题，或是解答外地核层的随机对流产生的地球磁场，当然也包括道理相通的紊流问题。但是都还没有令自己满意的进展，因此我没有在这几方面发表任何论文。不过我知道，有序算子总有一天会变得非常重要。

很高兴听说数学家也跑进来玩了，相信你也觉得这个东西很好玩。根据你的引述，它似乎具备了所有会迷惑数学家的条件，它“和原罪亲密接触，令数学家心痛”。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致列文（**Max M.Levin**）|**1977**年**11**月**21**日

加州大学圣塔鲁兹分校的列文博士，在校长辛思海默（Sinsheimer）和山德士教授的建议下，写信给费曼。他正在规划一系列探讨科学和艺术之关系的演讲。他认为费曼对这个题目一定很有兴趣，想问他愿不愿意出席研讨会，做一场演讲。

亲爱的列文博士：

仔细想了一小段时间之后，我想不出艺术对物理学有什么重大的影响。它很可能是有影响的，只是我找不出一个例子来。可见我不是可以在你的研讨会上演讲的候选人。

辛思海默校长和山德士教授之所以想到我，可能是他们听说我在学画画。他们认为画画当然是艺术活动。

我现在还在一个小型的旧金山芭蕾舞团客串打邦戈鼓，因此科学界的朋友若是谈到音乐或舞蹈与科学有啥关系时，一定也会想到我。其实，我对这些关系根本一无所知。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致沙克研究院（**Salk Institute**）克里克博士|**1978**年**3**月**7**日

●中文版注：

法兰西斯·克里克（Francis　Crick，1916～2004）是英国分子生物学家，与沃森（James　D.Watson，1928～）于1953年共同发现DNA的双螺旋结构，1962年共同获得诺贝尔生理学和医学奖。克里克后来跨行进入认知科学领域，从视觉研究心灵。

亲爱的法兰西斯：

很抱歉，我不得不没有看就把你的论文寄还给你。我近来太忙了，实在没有空再看别人的理论，免得自己再陷入泥淖，难以自拔。你的东西可能非常美妙，会害得我又想东想西、不得安宁。干脆硬起心肠不看算了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

克里克致费曼|**1978**年**3**月**10**日

亲爱的狄克：

别不好意思，我也干过同样的事。我们分子生物学界流行史塔尔（Franklin Stahl）的一句名言：“别告诉我，我可能会胡思乱想的。”

老友

法兰西斯



费曼于1978年在校园舞台剧《市长万岁》中（*Fiorello*，一出政治讽刺剧）演一个角色



1978年全家出游墨西哥，费曼与母亲卢西莉、妻子温妮丝、女儿米歇尔、儿子卡尔，在画了“费曼图”的旅游车前面合影

日本神户戴利亚哥（**Rafael Dy-Liacco**）致费曼|**1978**年**5**月**24**日

亲爱的费曼博士：

请原谅我很冒昧地把自己的想法寄来给你。我的脑子里有个关于宇宙射线来源的独特想法，可是不知道应该讲给谁听。我曾写信给《科学美国人》杂志的读者投稿栏，希望能刊登出来，这样一来，那些懂这个题目的科学家就能评论，说它对或是不对。可惜并没有获得刊登。我只能把这个想法告诉我唯一认识的一个懂物理的人，就是我的高中物理老师（我是个16岁的高中生），但我有很多理由不愿和他谈。

我父亲一直说，《科学美国人》的编辑一定是想剽窃我的创意。我

简直要被他逼疯了。我在某个介绍宇宙的影片中见过你，你给我的印象是我所认识的人当中，看起来最诚恳的，虽然你在节目中只谈论物理。因此，我想麻烦你花点时间，批评一下我的想法。如果你愿意的话，请用简单一点的名词，好让我能看得懂。我想知道的最要紧的一件事是，这是不是一个新想法？我的想法是这样子的。

假设：太阳的外层存在着一层反物质。

粒子和它们的反粒子发生随机碰撞，这就是宇宙射线的稳定来源，量虽少却十分重要。

太阳磁场很强的时候，譬如有大量的太阳黑子产生时，带电粒子的移动不再是那么随机了，它们会被加速往一个太阳磁极移动；而带相反电荷的粒子也同样被加速往另一个磁极。因此，带电粒子更有机会和他们的反物质发生碰撞。结果，粒子与反粒子的碰撞机会增加，宇宙射线的数量也会增加。这就是当太阳黑子很活跃的时候，宇宙射线也跟着增加的原因。

诚挚的祝福

戴利亚哥

费曼致戴利亚哥|**1978**年**6**月**6**日

亲爱的戴利亚哥先生：

你的宇宙射线来自太阳外层反物质的看法，很可能是错的。理由有好几个。

首先，以太阳所含的巨大质量来看，这层反物质支持不了多久，很快就会消耗完。因为它们的消耗量这么大，你马上就得面临一个新的问

题，就是这些反物质是从哪里来的？

其次，宇宙射线的能量通常很高，远超过物质和反物质互撞、消灭而遗留的能量。你也无法说明来自太阳系之外的太空，能量非常高的宇宙射线。这不是太阳磁暴所能解释的。

最后，物质和反物质碰撞而湮灭，产生的是γ射线，或称高能光子，而不是高速的质子。但是射到地球的宇宙射线，主要是高能量的质子，而不是γ射线。

物理学家的假设是这样的：较低能量的宇宙射线并不是来自太阳，而是太阳磁场的变化把太空中的氢离子（也就是质子）加速而成的。这种说法目前没有出现什么严重的问题。至于高能宇宙射线的来源，我们目前还不太清楚。

继续保持你在这方面的兴趣。如果第一次没有成功，就再试一次。也要告诉你爸爸，不必担心剽窃的问题，科学界并不像商场或其他行业。我们都在共同努力，设法了解大自然。我们都学会要非常注意尊重任何人的想法。如果这个想法真的很有用的话，我们是非常乐意让他先发表的。从17世纪之后，我们在这方面就不再有什么严重的问题发生了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

鲍林（**Linus Pauling**）致费曼**|1978**年**6**月**28**日

亲爱的狄克：

琳达告诉我，你切除了一个蛮大的恶性肿瘤。这种长在腹腔的恶性

肿瘤是很严重的，5年的存活率相当低。化学治疗没有什么用。在英国，很少用化疗来处理这种恶性肿瘤。

我认为你当务之急，就是立刻开始大量摄取维生素C，每天至少20克。我正和一个腹部有恶性肿瘤扩散的病人通信，他前3个月，每天摄取60克维生素C，现在情况好多了。服用量也降到每天35克。

随信附一些参考文献给你，从当中还可以找到更多的参考文献。琳达会告诉你，在哪里弄得到纯的维生素C和抗坏血酸钠。也会告诉你该如何服用。

维生素C的主要作用是增强身体的免疫功能。一些细胞毒素类的药物会破坏身体的免疫功能，可能也会降低维生素C的功效。另一方面，像BCG这类刺激免疫功能的药物，则可和维生素C一起服用。一旦你开始服用维生素C，很重要的是不能中断，不要吃吃停停的。

我们还有另一篇论文发表在《国家科学院会报》。此外，日本的森下（Morishita）和村田（Murata）也得到和我们类似的结果。

祝福你

林纳斯·鲍林

附笔：不要吃甜食，少吃肉。多吃蔬菜、水果，多喝蔬果汁和果汁。

费曼致鲍林|**1978**年**7**月**7**日

亲爱的林纳斯：

非常开心听到你的消息，也谢谢你特别关心我的问题。

我得的癌症是一种很少见的腹腔恶性肿瘤，叫黏液样脂肉瘤，是一种含大量黏液的软组织肿瘤。虽然开刀取出来的时候，它已经有2700克，但是还包裹得相当完整。显然我的手术已经把它切除得干干净净。病理报告也显示，癌细胞并没有侵入我的血液系统。因此，我的肿瘤医师霍尔（Thomas C.Hall），是班塞（Seymour Ben-zer，加州理工学院遗传学家）介绍的，他也不建议做化学治疗。他只是很仔细地用X线做全身检查，看看有没有转移到其他地方。不管怎样，我已经把你的信交给他看，看看参考文献里谈的那些事他熟不熟悉。

琳达已经把资料统统都告诉我了，就是你在信里详细叮咛的那些事。林纳斯，你最大的成就之一就是帮助生出这么可爱的女儿来。

再次感谢你的关心。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致欧勒（**R.Wayne Oler**）|**1979**年**3**月**2**日

欧勒是班哲明/康明思（Benjamin/Cummins）出版公司的副总经理，写了一封谈费曼的版税的信来。他关切一个问题：很多出版社会寄免费的教科书给有机会采用为课本的教授。有些教授就把这些公关书卖掉，增加自己的收入。欧勒先生认为这件事会影响教科书市场，可能减少出版公司的利润和作者的版税。

亲爱的欧勒先生：

我想，我们不要太贪心吧！

很不巧，我写书的目的不是想赚钱，而是想传播知识，因此我的意

见和你不太一样。

依我看，如果你寄免费教科书给教授的目的，是要推销这些书，并且和教授建立良好的关系。那么这些书已经达到目标了。如果它们能再卖给别人去用，更增加书的附加价值，有什么不好呢？如果你不喜欢这件事发生，就不要寄书出去呀！

如果你寄书出去，是希望寄书后得到一些正面的反馈，那么在你把书寄出的时候，你已经得到应得的利益了；不管你原来想的利益是什么。如果收到书的人能用它再创造一些价值，我们有什么立场禁止他这么做？你寄给了他，书就是他的了，不是吗？如果寄书的净效益是负数（就是销售的减少超过寄书的广告和公共效益），只要停止寄书就能停止损失了。这是很简单的逻辑。

以前，也常有出版公司主动寄给我全新的书或回头书，而我很讨厌人家对我打广告。现在，你的信给我一个新点子，我知道怎么处理那些书了。

诚挚的祝福

理查德·费曼



1979年，费曼接受卡特总统颁发的国家科学奖章

费曼致荷兰的狄库伊斯（**G.C.Dijkhuis**）**|1979**年**6**月**13**日

亲爱的狄库伊斯博士：

谢谢你来信提到《费曼物理学讲义》第三册第21章第8节的符号。我在讲义的前面说过，这就像一场场专题讨论会。而现在，你把这个符号当真，甚至当成了方程式的符号。可是在专题讨论的现场，大家都很清楚这符号写错了。千万不要相信我随手写下的符号。你们应该相信自己仔细推导出来的东西。（很抱歉，我现在没有耐性再把讲义全部检查一遍。你可以认定，我当时写下的符号有一半的机会，用法是不正确的。）

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致光学涂布实验室公司伊斯里（**Robert Ilsley**）**|1979**年**6**月**13**日

亲爱的伊斯里先生：

这封信是要确认我们6月13日星期三的电话交谈。我在电话里说的是，我不能担任你们这家光电公司的董事。主要原因是我欠缺企业管理经验。我不认为你们公司其他外聘董事的丰富企业经验，足以弥补我的不足。我没有足够的信心，可以执行董事的职责。这会让我很不自在。也因为这种不自在的感觉，让我婉拒你的盛情邀请。

感谢你的殷勤和耐心，包含我在这件事上表现出来的优柔寡断。为了这件事，你一定有些困扰，也耗费一些时间与金钱。请多包涵。

经过这件事之后，我开始对光电产业和前景感兴趣。我将会高度关注你们公司的发展情形，希望我们能时时保持联系。

很高兴能认识你和工厂里的一些朋友。

祝你好运

理查德·费曼

费曼致温妮丝、米歇尔和卡尔**|1980**年**6**月**29**日

下午3点，写于奥林匹克大饭店游泳池畔。

亲爱的温妮丝、米歇尔（卡尔也在家吗？）：

这是我抵达雅典的第3天。

我在饭店的游泳池畔写信，信纸就铺在我膝上。因为桌子太高而椅

子又太矮，用起来很不舒服。

这次旅行虽然是准时到达，但过程当中很不舒服。因为飞机客满，每个位子都有人，拥挤不堪。伊利亚波洛教授带着他侄儿和一个学生到雅典机场来接我。他侄儿和卡尔同岁。另外，我很惊讶，这里的气候和我们帕沙迪纳很像（但气温大约低个5摄氏度），蔬菜的种类也差不多，附近的山丘光秃秃的，有很多沙漠地形和仙人掌，湿度也很低，相当干燥，夜里也是凉飕飕的。不过相似的部分也仅止于此了。雅典城大而无当，丑陋、喧闹，充满了汽车的废气。绿灯一亮，汽车就像是看到青草的兔子，不管三七二十一地横冲直撞。等到红灯亮的时候，到处都听见刺耳的刹车声，而且每个人都乱鸣喇叭（黄灯亮的时候）。这一点倒很像墨西哥市。只不过这里的人看起来没有那么穷，街上的乞丐很少。不过温妮丝，你会很喜欢这里的，商店真多，都是一小间一小间的。卡尔一定也很喜欢在老城区到处逛，那里小巷杂错，有很多稀奇古怪的玩意儿。

昨天我到考古博物馆参观。里面有很多马的雕像，大部分是石雕。米歇尔一定会爱看的。其中有件很大的青铜作品，是个男孩骑在奔驰的骏马上，看了很令人感动。但展品太多，标示又不很清楚。我走得双腿发软，把看过的东西全搞混了。而且我们以前已经见过很多类似的希腊雕像了，所以觉得有点枯燥。其中只有一件很特别的东西，和别的东西都不一样。它是1900年从海里打捞起来的一个机械制品，有点像现代闹钟的内部组件，有一些齿轮接合在一起，当然，上面还有标示着刻度的图和古代希腊的铭文。我怀疑它是个冒牌古董。1959年的《科学美国人》杂志上，曾有篇文章介绍过这个东西。

昨天下午，我去雅典的卫城参观。这座古城就在市中心的一块岩石台地上，有名的帕特农神殿和其他古老神殿的遗址就在这里。帕特农神殿保存得很好，非常壮观。温妮丝，记不记得我们在西西里岛的塞加斯

塔遗迹看过一座令人非常感动的神殿？差不多是那种感觉。当时我们还走进里面去参观。但是在这里，不准上台阶，不准在廊柱间行走。伊利亚波洛教授的姐姐带着一本笔记簿陪我们参观。她是个考古学家，一路向我们解说。从希腊传记作家普卢塔克（Plutarch，46～120）谈起，每块碑文都不放过。

看来希腊人非常看重他们的历史。从小学6年级开始，就要学古希腊史，每星期有10节课。这根本是一种祖宗崇拜，尊古而抑今。他们总是再三强调古希腊人是如何伟大。当然。希腊老祖宗确实了不起。但你若想鼓励一下现代的希腊人，说他们并不会不及祖先，并且提起他们的实证科学、数学成就、文艺复兴艺术以及哲学思想上的进展等，其实都超越了古人。他们并不觉得受到称赞，反而会问你：“你说这些话是什么意思？古希腊人有什么不好？”然后继续贬低现代，推崇古人。好像今人的成就全是靠他们祖先的余荫，却不知道心存感激似的。

依我看，现代希腊人有很严重的恋祖情结，整天在那里自怜自艾的。当我说道，欧洲数学的最重要进展是发生在16世纪，意大利数学家塔塔利亚（Tartaglia，1499～1557）发现三次方程的解法时，他们并不觉得与有荣焉。这个解法的本身虽然没有多大的用处，但却证明了现代人可以做出古希腊人做不到的事，在当代人的心理上，有非常重大的意义。从此，欧洲人不再一味模仿古人，因而有助于文艺复兴运动的兴起。现代希腊人在学校里学的那些东西，只会打击士气，让学生觉得自己远不如祖先优秀。

我问那位考古学家女士，可曾有人发现过和博物馆里那个机器类似的文物，譬如说比它更简单，或是更复杂的类似东西？她说她不知道我说的是什么。于是我约了她和她儿子一起到博物馆去。她儿子就是到机场接我的，那个和卡尔同岁的教授侄儿。因为正在学物理，把我当成像古希腊英雄似的人物看待。我带她看了那个稀奇古怪的东西，并且把我

的疑点告诉她。她听了，很不以为然，反问我：“埃拉托斯特尼（Eratosthenes，公元前3世纪的希腊科学家）不是曾经测量出太阳到地球的距离吗？他当时难道不需要一些比较精密的科学仪器？”唉！这些钻研古籍的现代希腊学者，是多么的无知呀！难怪他们一点也不喜欢现代。他们根本不属于这个时代，也不了解这个时代。但后来她也觉得这东西有点蹊跷，于是带我到博物馆的库房里去。她相信库房里一定有些类似的收藏品，而至少她可以找到有关这件东西的完整资料。结果库房里并没有其他的类似收藏品。而所谓资料，总共只有3篇文章（其中包括刊登在《科学美国人》上的那篇），全是同一个人写的，而且还是耶鲁大学毕业的美国人。

我猜那些希腊人一定觉得美国人很笨。馆里那么多精美的雕像和画像，蕴含着多少美丽的神话和传说故事，他不去欣赏，单单对一具机械作品有兴趣。（当考古学家问博物馆的一位女职员，有没有编号15087展品的详细资料，因为一个美国来的大教授想多知道一点和这件文物有关的东西，她咕哝着：“博物馆里这么多好东西，他为什么偏偏挑那一件？那东西有什么特别的？”）

这里人人都抱怨天气热，怕我会受不了。其实此地的平均温度还比帕沙迪纳低5摄氏度左右呢。商店和机关下午1点半到5点半午休，说是天气太热了。这主意还真不错，大家都好好地睡个午觉，然后晚上再混到半夜。通常的晚餐时间是9点半到10点，那时候比较凉快些。最近新订了一条法律，为了节约能源，所有的饭馆和酒店必须在凌晨两点打烊了。弄得大家抱怨连连，说如此一来，雅典的生活步调都给破坏了。

现在正好是一点半到五点半的午休时间，我趁这个机会写信给你们。说实在的，我很想念你们，还是在家好。想来我对旅行已经没有什么兴致了。我在这里还有一天半的停留。出门之前，你们热心推荐我去一处美丽的卵石海滩，和一处重要的古迹（大半已经损毁）。但这两处

其实还蛮远的，单程要坐2～4小时的游览车。因此我哪儿都不想去。算了，我还是乖乖留在饭店里，准备一下克里特岛的演讲稿好了。他们要我多加3场演讲，听众是专程到克里特岛来听我演说的希腊大学生。我准备按照在新西兰演讲的做法，可是我还没有拟好大纲。

我很想念你们大家，尤其在晚上要上床睡觉的时候。没有狗狗可以搔痒，也没有对象可以道晚安。

爱你们的理查德、老爸

附笔：字迹难认的话，别担心。我只是随便写写，没啥重要的事。我在雅典过得很好。

哈特（**Michael H.Hart**）致费曼**|1980**年**3**月**25**日

亲爱的费曼教授：

去年秋天的某日上午，我正在教一些大学生电磁学，我把$F_{mag}=q\upsilon\times B$这道公式写给他们看。我指出，就如大部分的教科书所说的，根据公式，由于磁力F_{mag}永远和ds垂直，所以磁力是不可能做功的。

几天之后在实验室里，我利用一块永久磁铁移动一根小铁棒。小铁棒放在桌上，我用手指头把它抓住，而我把永久磁铁摆在它上方。

我的一个学生（他显然不够聪明，不了解课本内容的正确意思）忽然问我，如果磁力不能做功，那磁铁是怎么移动小铁棒的呢？真是个笨问题！这个显然矛盾的现象的解释，对我而言几乎是不假思索的。但我忽然觉得很难用简单的话来把这个问题说明白，让这么笨的学生也听得懂。（我忽然觉得很泄气，觉得现在的高中教育相当失败，这种程度的学生也能毕业，进大学来。）你是不是能帮个忙，告诉我该怎么说，才

能让这种学生也能懂。

诚恳地请求你

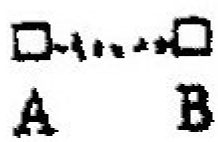
哈特助理教授

费曼致哈特|**1980**年**12**月**4**日

亲爱的哈特教授：

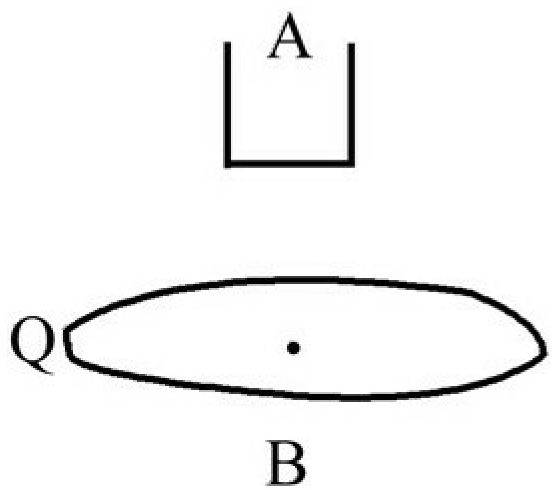
我最近整理书桌，才发现你那封提到磁场做功的有趣问题的信。我大概一开始的时候，因为需要稍微想一想，就把它搁在一旁。请原谅我。或许是我不肯承认，过去这半年来，我一直想不出适当的说法，不知道该怎么回信。现在终于有了答案。

在物理学上，“谁做功”这个概念并不是很明确，也没多大的用途。它对我们的直觉和认知没有什么帮助。假设我有两块砖A和B，用一只略微压缩的弹簧连在一起。A的位置固定不变，B向A移动而压缩弹簧，那么弹簧可以做功的能量，显然来自B。但如果反过来，B固定不动，A向B移动，则做功的能量就是A提供的。至于到底哪个是哪个，就看观测者的相对运动是什么而定。如果我们只是把A、B两块砖拿在手里，互相推挤靠拢，那我们只能说弹簧做功的能量，是由A和B同时提供的。谁会去管它们各自出了多少功？因为这完全看我的手是怎么移动的。要进一步追究其间的细节，就没有什么意义了。这只是一个例子。



现在，我们假设A是一块磁铁，B是一个带着电荷Q的轮子。如果A接近B，B就转快一些，那么，多出来的动能是哪里来的呢？来自把它们

（也就是A和B）推在一起的力，这就是我想说的。但我们有个定理，说：一个粒子的动能，不可能被磁场改变。在这个例子里，当然，如果你坚持的话，轮子动能的改变是由于电场的改变，而电场的改变是磁铁移动造成的。但是你的笨学生要的，是个直觉上合理的答案，而且是反过来的情形，就是：如果A是固定的，B向着A移动会怎样？这里并没有电场存在呀！它是由一种说起来很复杂的、作用在轮辐上而把轮子往上推的力（到底是什么？）所做的功。这个笨学生没耐心去仔细推敲：谁移向谁这种事，其实和问题呈现的方式有关，但是和答案的本质无关。他们不知道其实两者之间，谁移向谁只是相对的，和实质的物理作用没什么关系。他们不了解这一点，坚持要一个答案，你只好引经据典去解释，陷入烦琐的细枝末节里。



但最后，你举的磁铁和小铁棒的例子是最有趣的。这需要特别的考虑。磁矩的产生，来自电子的自旋，而这是一种量子力学效应。它的力并不是来自$E+\upsilon\times B$；如果硬要从往典理论找出近似的描述，那就是原子的磁偶极矩。这回，磁场就可以做功了。这里的矛盾可以经由观测来分辩。事实上，如果原子里的电子遵守的是往典物理，原子就不会表现得像个小磁铁（详见《费曼物理学讲义》第2册第34章第6节）。

笨学生问的简单问题，常常有非常复杂的答案。只有聪明学生才被训练得会问那种复杂的问题，然而答案其实很简单，老师都知道答案，只有当老师的，才想得到那种答案简单的简单问题。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致麦克阿瑟基金会计划主任弗洛恩德（**Gerald Freund**）**|1981**年**4**月**6**日

沃富仁（Stephen Wolfram）是个理论物理学的奇才，1979年才20岁，就得到加州理工学院的博士学位。之后又在加州理工学院待了好几年，才转去普林斯顿高等研究院。

亲爱的弗洛恩德博士：

在找寻别的东西的时候，我发现这封推荐沃富仁的信还躺在抽屉里，没有完成。

我其实很不喜欢替人家写推荐信。因此当褚威格（Georgr Zweig）来问我这件事的时候，我压根儿没有想起来。现在，我抗拒这种不愿意为人推荐的本意，特别是我的秘书把这份被我一时疏忽、搁了一小阵子的推荐信继续完成。

你问我的是沃富仁的能耐，是否能有资格获得麦克阿瑟基金会的资助。

沃富仁博士确实是非常杰出的，正是你们的计划应该奖励的对象。他在很多领域里，都有非常多的原创性研究。例子不胜枚举，例如，他发明了一种很天才的方法，来比较高能物理的实验结果和量子色动力学

理论所预测的现象；虽然这个理论还不完整。另外一个例子是，他在临时需要的情况下，设计并写出一套全新的电脑程序，来做代数和符号的运算，而整个工作全是原创且独立完成的。他分析了宇宙早期重子（baryon）的形成，指出在这项工作中其他人所犯的重大错误。

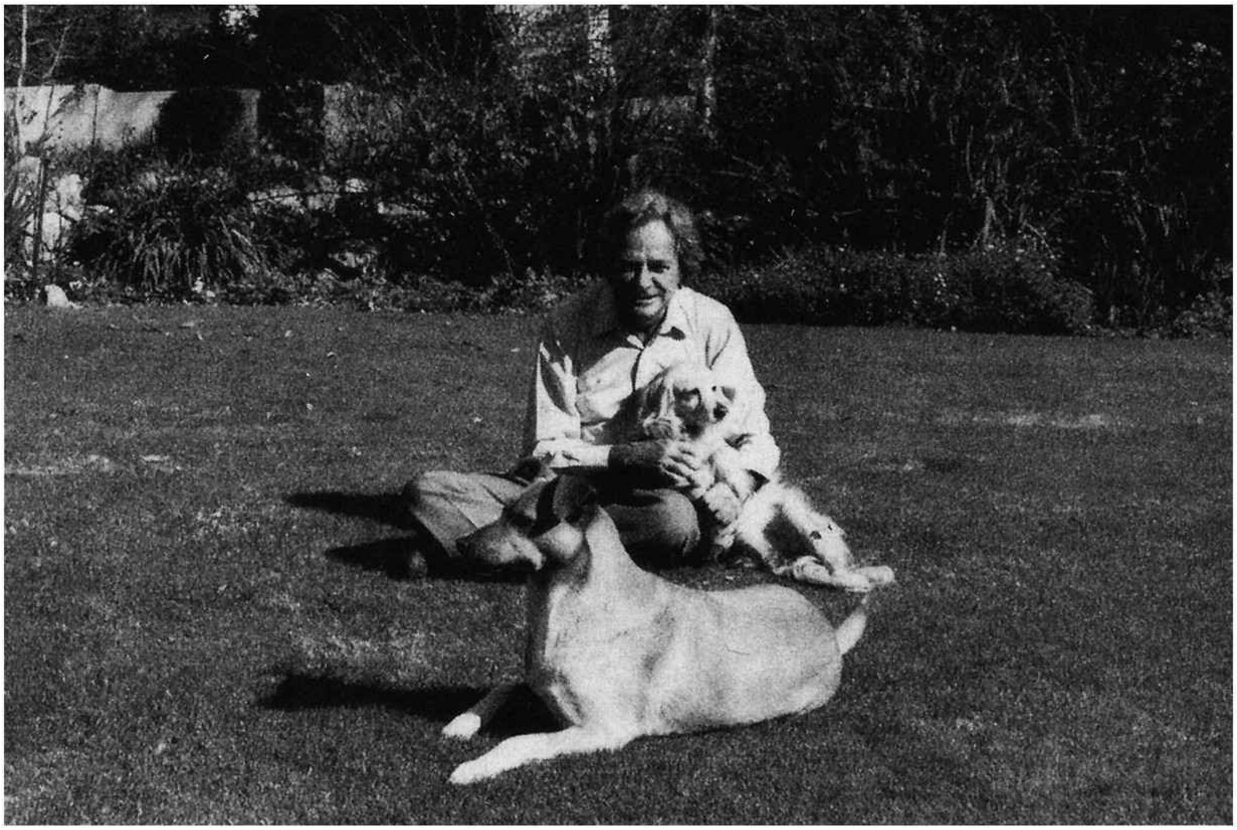
沃富仁在理论物理的所有基础问题上，更是功劳非凡，无论是引力、宇宙学以及崭新而尚未划定领域的理论，例如强子物理与弱相互作用，都有建树。他研究每个问题的方法，并不是大量阅读相关文献，而是以自己的方式，亲自解决它。他非常卖力地在研究。他的勤奋和他的做法，正是他那多姿多彩的原创性成果的来源。

这里举办过的研讨会，沃富仁都会出席，没有一次会缺少他那精辟独到的评论、询问或批判。我不知道这个领域里，还有谁比沃富仁博士的见解更为广阔。他好像对每个问题都有研究，而且对每个研究的问题都有创见或严谨的判断。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：沃富仁博士得到1981年麦克阿瑟基金会的“天才奖”。



费曼与山卓拉、维娜丝在自家草坪上晒太阳。摄于1981年

费曼致麻省理工学院林肯实验室李维斯（**Rodney C.Lewis**）|**1981**年**8**月**10**日

李维斯先生来信，说非常欣赏费曼在麻省理工学院所做的学术报告。李维斯指出，他觉得很多科学家和教育工作者，已经丧失了探索未知领域的雀跃心情。李维斯说他已厌倦了标准教科书里的范例，很高兴费曼的观点与众不同。

亲爱的李维斯先生：

谢谢你的善意来信。听到你说很喜欢我所做的学术报告，让我很高兴。别对那些枯燥的标准教科书失望。只要常常停下来，合上书本，想想书上到底说的是什么，然后试着用自己的话去诠释看看，你就会看到大自然的美妙和精神。书本给我们的，只是硬邦邦的事实，但我们的想

象力可以让它们栩栩如生。

当我还是个坐在父亲膝上的小男孩时，父亲就教会我怎么做了。他读《大英百科全书》给我听，常常故意停下来问我，现在书上到底在说什么呀？例如，书上说“霸王龙的头有1米宽”，意思是说，如果它站在外面的草地上看你，它的头会在2楼窗外，盯着你的卧室瞧。如果它伸进头来，会同时撞破两扇窗户。等到我稍大些，我们又重读这段文字时，他会提醒我，霸王龙的颈部肌肉有多强壮，以及体重与肌肉截面积之间有什么比例关系等。他也会告诉我，为什么陆地上的动物不可能长得像海里的鲸那般大，为什么蚱蜢可以跳得和马跃起来一样高。所有这些，都来自思索恐龙的头。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致唐恩·聂米克（**Don Nemec**）|**1981**年**10**月**19**日

聂米克和费曼连续通了8年的信。他们两人有个共同的朋友，就是厉立（John Lilly）医师。厉立是以“孤立舱”（isolation tank）方式研究人类意识的先驱（最著名的，可能是他在种间通信方面的研究，尤其是人和海豚的通信）。他们通信讨论的问题范围很广，有一封是讨论厉立的“感觉剥夺舱”。聂米克以物理学家的观点，写了大约1页的看法，费曼又加注了一些意见，讨论梦境和超觉经验（out-of-body experience）。大部分信件都是聂米克执笔，由费曼加注一些意见。下面这封，是费曼最长的一封回信。

亲爱的唐恩：

非常高兴接到你8月5日写来的长信。你看起来开心得很，也胖得多，比起在帕沙迪纳时变了些。看起来，帕沙迪纳不是个可以进行超觉

实验的理想地点。

你知道的，我还是认为你一直练习而且仔细研究的心灵经验，只是脑子在放松状态的一种奇妙现象。这种奇妙的感觉，完全是内在而自我的，但它其实深受你的信仰和你的亲身经验所影响。也就是说，当你脑子没有放松时，在想什么东西，以及你日常生活中，每天运用大脑的方式和思考的方向等，都会影响这种奇妙的内在经验。因此，我不认为它是所谓的"和宇宙智慧的接触"或者"探索真实世界的某个未知层面"等。换句话说，我们每个人对这个"外在的"真实世界，都可能有这种类似的共同经验。这些经验最多只是像每个人经历到的梦境一样罢了。而梦境，依我看，是不可能预测未来的，也不可能显示正在其他地方发生的事。日有所思，夜有所梦。梦境只会告诉你，你白天在思考或担心什么事情。

好，就算事情如你所说的，谁又能证明或反驳这些事情呢？

很高兴听说你找到了研究这件事的人（金姆）。我不知道你是不是仍然和她一起工作。她可能有一些超觉经验，但你说："她也无法说服自己，这种经验除了表现出来的现象之外，还有什么意义。"什么是"表现出来的现象"？

你也猜得出来，我对这件事觉得很遗憾。这么一个聪明又有才干的女孩，居然放弃好好的大学教职，去追求这种虚幻的、偶然发生的内在经验，弄得自己整天神经兮兮的。难道她就不能兼顾，让两件事各占适当的比例吗？因为依我个人的观点，她只是在追求一种幻觉和幻想，弃令人喜悦和刺激的真实世界于不顾。而这个真实世界对她的思想却更有帮助，更美丽，也更令人喜爱。

谢谢你的信。别忘了继续保持联系，稍微瘦身一下。祝你好运。

你的好朋友

费曼

费曼致麻省理工学院乐利（**P.P.Lele**）教授**|1981**年**11**月**16**日

亲爱的乐利博士：

非常感谢你给我寄来超声波研究报告。你的超声波设备所描绘的图像，非常清楚又有创意，分析的功能也非常强。比起现在普遍使用的设备，超越很多，令人印象深刻。希望它最后也能像初步测试时一样成功。

我很感谢你愿意提供自己的技术，为我检查及治疗恶性肿瘤。我会非常慎重地考虑。至今我试过的那些传统疗法，效果都不很满意。加州大学洛杉矶分校的教授认为，外科手术仍然是最佳的选择。因此，我已经决定下星期要再动手术，由莫顿（Donald Morton）医师主刀。

动手术之前，我们已经试过一般的化学治疗、一些放射性治疗和高温疗法。所谓高温疗法是用1350万赫的磁场1000瓦，来照射腹部。连续10天之内，每天有1次35分钟的疗程。但是没有一种治疗方法有明显的效果。这些治疗的主要目的，是使肿瘤缩小，让原来很困难的手术变得容易些。他们并没有在肿瘤内部插入温度计。和你的技术相比，算是相当粗糙。

或许当我的恶性肿瘤再度复发时，你会再次考虑把我当作你超声波治疗的候选病人。

谢谢你花了很多时间，在电话里耐心和我讨论这些事情。

诚挚的祝福

理查德·费曼

第10部　电视新星|1982～1984年

如果你觉得我有点疯疯癫癫的，我现在有借口了，

因为我的脑壳钻了两个洞。你摸摸看，就在这儿。

20世纪80年代早期，大西洋两岸都播出一个专访费曼的纪录性节目《发现的乐趣》。片长1小时，有大量费曼近距离的特写。出乎一般评论家意料之外的是，观众非常喜欢这个节目。更多的人写信来了，其中包含很多的物理门外汉、赞美者和一些跟着瞎起哄的好奇人士。

由这段时期的信件当中，我们可以看出费曼在处理信件态度上的转变，从原先的很有耐心，变得很直率。这时候对他来说，时间变得更珍贵了。在1982年年初的一封信里，费曼表示，他发现自己很难用通信方式来讨论问题。他说："我的习惯是一碰到有疑问的地方，就要立刻澄清。我没有耐心去慢慢思索它可能是什么意思。"尽管如此，费曼还是花了一些时间展读一封封陌生人的来信。这些信不管是技术性或非专业的，通常既没有组织又思绪杂乱。但费曼在回信中，总是单刀直入，精确地提出信里所谈论的重点或本质。

与此同时，费曼的健康状态也一直有问题。费曼的母亲在1981年11月初去世。丧礼之后不久，费曼为了自己腹部的恶性肿瘤再度开刀。这次手术时间长达14.5小时，而在手术中，又发生主动脉剥离，需要大量输血，总共输了大约3.3万毫升。数十名加州理工学院的教职员和学生以及附近喷气推进实验室的员工，都赶到加州大学洛杉矶分校附属医院去献血。我记得当时曾在电话中与其中一些人谈话，设法把能够献血的人集中起来做个安排。他们对我父亲的热爱和赞赏都化为具体的行动，帮助我们家顺利度过这段困难的时光。

1984年3月，费曼期待很久的个人电脑终于到货了。他开车到店里去取货，在停车场的人行道不小心跌了一跤。撞破了头。他把头上的血擦掉，仍旧到店里取了电脑回家。当晚，我和母亲在外面逛了一整天回到家时，发现他正愉快地玩着新电脑，身上还穿着那件沾满血迹的衬衫。当时他以为自己没事了，但几个星期之后，才发现有脑膜下血肿，部分血液集中在脑的表面，就是那一跤引起的。后来他又回到医院，在

脑壳上钻两个小洞，把血块引出来，减轻压力，后来，他常常拿这件事和朋友开玩笑，说：“如果你觉得我有点疯疯癫癫的，我现在有借口了，因为我的脑壳钻了两个洞。你摸摸看，就在这儿。”

这之后，电脑在他的专业和他的时间上，都占了很显著的地位。由于我哥哥卡尔的刺激，他不时思索并演讲有关电脑的题目，并且思考电脑的极限以及量子电脑的可能性。

赖特（**Don Wright**）致费曼|**1981**年**11**月**23**日

1981年11月，赛克斯（Christopher Sykes）的纪录片《发现的乐趣》首次出现在BBC的《地平》（Horizon）系列节目中。

亲爱的教授：

我不像大多数美国人，有那么多时间。这是我第一次，恐怕也是最后一次，写信给在电视节目上出现的人。我觉得你在电视上的谈话实在太感人了（不管是叫演讲或是叫访问，总之是你在说话）。我指的是今晚BBC第二频道上的节目，因此我非得写这封信不可。

如果你有机会到英格兰来，而且有时间可以造访多塞特郡的斯温奇村，我们会竭诚地欢迎你。这里是英国的小乡村，景色优美、民风淳朴。

我知道你的垃圾箱一定比我的大很多，但我还是把这封信寄给你，碰碰运气。

谢谢你在电视上的谈话。

诚挚的祝福

赖特

费曼致赖特|**1982**年**1**月**13**日

亲爱的赖特先生：

谢谢你来信告诉我，你很喜欢我在电视节目上的谈话。我是个美国人，你对这可能有些不很自在。但是我要特别告诉你，我太太可是不折不扣的正宗英国女人，来自约克夏郡。她给我的“家教”，把我改造得很不错，我应该已颇有英国绅士的风范。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致葛里菲丝（**Connie Griffiths**）|**1982**年**1**月**25**日

英国的葛里菲丝也看了《地平》那个节目，写信来建议费曼试试冥思静坐，认为冥思静坐可以使人的心神更加安宁，可节省费曼的时间和精力，增进效率。信里提道：“我看得出你的思考非常细腻而清晰。但即使如此，我还是认为你处理的那些问题实在太困难了。因此，冥思静坐可以使你的思想更集中在你研究的问题上，不会分心去管那些没用的旁枝末节。它可以让你的心灵到达全新的境界，很接近空相的境界。在那个境界里，自然律和你非常接近，会整个展现出来，而不是一点一滴慢慢出现。”

亲爱的葛里菲丝小姐：

谢谢你有关冥思静坐的来信。

我试过类似的东西，是一个心理医师朋友厉立发明的，叫作感觉剥夺舱。一个人漂浮在盐水里，没有声音，没有光，没有什么感官的功能，近乎绝对寂静。我试过很多次，好几个钟头，也产生一些幻觉似的

经验，等等。

当然，它和冥思静坐是不一样的东西。但是我有一种感觉，就是这种身心松弛的经验或体验，虽然在心理上让人有一种更了解自我的感觉，但它绝对不是那种要解决硬问题所需要的硬思想的替代品。这种硬思想需要专业的学术训练，必须先把脑子装满了科学的事实，再经过某种脑力激荡，或者只要放松下来，或许所有的事情都会豁然开朗。

不管怎样，总而言之，谢谢你的建议。

诚挚的祝福

理查德·费曼

苏格兰丹地大学（**University of Dundee**）心理系沃尔夫（**J.Gerard Wolff**）致费曼|**1981**年**1**月**23**日

亲爱的费曼博士：

我觉得你今天在BBC《地平》节目里所说的话很有意思。尤其你谈到，处理牵涉理论的问题时，可以用观察来检测理论的正确性，更让我感触很深。

我研究的问题是，小孩子是怎么学会说话的。在我的研究领域里，碰上的正好是你说的问题。显然小孩子的大脑里，在分析听到的语言里，做了许多和文法与句型有关的复杂比较工作。许多语言学习理论，都说得很简单，很像大纲似的。但其实语言学习的运作是非常复杂的，因此那些理论变得很难去证实或反驳。

要处理这个问题，我喜欢的并不是数学的方法（可能部分的原因是我不懂多少数学）。我是把理论用电脑程序表现出来，让电脑去分析、

整理语言学习的过程。这种技巧在许多科学领域都已经很普遍了，你不太可能没有想到。但是你在节目的访谈里并没有提到它的可能性，我觉得或许值得对你说一声。

我同意，物理学的研究方法用到社会科学上，几乎都走了样，结不了果。但在社会科学里也有一些很实际的问题，像语言的学习，可以推演出精确的理论或假说，我们也可以获得有价值的见解。

你觉得电脑模拟对你的问题会有帮助吗？

诚挚的祝福

沃尔夫

费曼致沃尔夫|**1982**年**2**月**4**日

亲爱的沃尔夫博士：

谢谢你注意到我的节目。

你猜对了，我确实想过用电脑来模拟小孩子学习语言的过程，但我是用另外的方式。在研究电脑的能力时，有朋友给了我一个问题。电脑程序可以教会电脑下棋，而且下得很好，也能教电脑打桥牌。你能为电脑设计一套程序，教它玩游戏吗？首先把游戏规则告诉它，然后和它玩几次。它随着经验的累积，技巧愈来愈好（就像人一样）。当它学到更多的时候，虽然每次要搜寻的存储量变得很庞大，但电脑运算速度实在太快了，这一点不成问题。电脑玩游戏的速度并不会慢下来，这就是所谓智能型的电脑。

想到这个之后，首先我想用一套简单的系统来试试。就像你提到的，我想教电脑学数学，希望它的数学能力愈来愈好。接着，我就想教

电脑学语言，或类似这种“最简单”的问题。接下来，我就思考到，小孩子是怎么学说话的呢？

但是我找不到一个方法，教电脑把学到的知识储存起来，不管是单词还是语法。电脑的内存是很大的，储存资料不成问题，搜寻起来也不困难。但要怎么储存知识，却让我束手无策。

你对这个问题有什么好主意吗？如果你在这方面发表过任何论文，能不能给我一份复印本参考？在我的物理问题里，我们当然也试图利用电脑来研究一些细节。有些东西也是这样处理的。但是到目前为止，电脑的能力仍然有所不足，没有办法得到清楚的结果。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致瑞士日内瓦杜德立·莱特（**H.Dudley Wright**）**|1982**年**2**月**17**日

亲爱的杜德立：

总算手术成功，我的意思是说，我还活着。事实上是，我复原的情况非常好。现在几乎随时可到日内瓦去看你，只要你愿意。在短暂的中断之后，我期待近日可以恢复工作。

几乎每天，我都到加州理工学院去上班。但我的秘书海伦却不准我教课，她认为我该休息一年。但是她无法阻止我做研究，我比以前更努力思考。

听说你3月份要来，我非常高兴。到时候就可见到你了。要住我家吗？你什么时候要让我到日内瓦去，看看一切事情进展得如何？大伙儿可以再聚一聚。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致沙克研究院霍夫曼（**Frederic de Hoffman**）**|1982**年**3**月**29**日

亲爱的霍夫曼：

谢谢你1月29日的来信（我的信箱都快塞爆了，花了一些工夫才整理得差不多）。我觉得好多了，而且已经开始正常授课（本周起）。我也很遗憾我们好久没有见面了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致瑞士日内瓦维尔·特雷迪（**V.Telegdi**）教授**|1982**年**3**月**30**日

嗨，维尔：

谢谢你的来信。没有什么好担心的，我已经完全复原了。我在11月的时候，动了一次腹腔癌手术，医师把看到的东西都割掉了。因此，我现在缺了很多器官。有些器官虽然还留着，也多多少少割掉了一部分。医师说，手术过程中，我几乎要成为他第一次手术失败的病人，幸好最后没事。

你最近有没有回加州理工学院的计划？或许我们可以在日内瓦见面。我希望6月的第一周或第二周，有机会去那儿一趟。

诚挚的祝福

理查德·费曼

附笔：我这学期已经开始授课。完全恢复百分之百的正常活动了。

费曼致辛默（**Stuart Zimmer**）**|1982**年**2**月**18**日

辛默先生是纽约的高中自然科学教师，为了鼓励学生研习自然科学，学校准备开辟一间“美国科学”的展览室。他要求费曼的亲笔签名，想把这个签名摆在诺贝尔奖得主区。

亲爱的辛默先生：

我不同意所谓“美国科学”展览的想法。科学是全人类共同努力的成果，如果没有其他地区的科学发展，美国科学什么也不是。

其次，令我很困扰的是，人人都把诺贝尔奖得主当成最重要的科学家。为什么我们对那些由瑞典国家科学院挑选出来的科学家那么重视？对一般民众来说，这或许没有什么不好，但是教自然科学的老师，应该有自己独立的选择：哪些科学家对他最有启示，哪些科学家他最想介绍给学生，要学生注意或效法。

不过别管我的意见，放手实施你的计划吧。我只是被诺贝尔奖得主这个头衔搞烦了，发发牢骚而已。这是你要的亲笔签名。

诚挚的祝福

理查德·费曼

英国大学生伍德沃德（**Alan Woodward**）致费曼**|1981**年**12**月**29**日

亲爱的费曼教授：

我知道物理教授是非常忙碌的，但还是抱着一丝希望写信给你，希望将来有一天会收到回信。

我只是个南安普敦大学的物理系学生，但是对物理科学的怀疑已经在我内心深处蔓延。我看到所有这些学生、讲师和教授，都只全神贯注于自己研究的小小课题，根本就不知道实验室门外的世界。他们不食人间烟火，只是逐字逐句地照字面去解释所有的事情，完全不知道我们的世界朝哪个方向发展。他们只关心自己的科学。这样对吗？

不仅如此，当有人想和他们讨论某些议题时，他们往往不愿意善尽自己的社会责任，表达什么独立的意见。我觉得自己有点孤单，像个傻子。

现在，我们在课堂上用你的书，教的是你的理论。而且我的量子物理老师海伊，一再对我们强调，说你对物理学有多么大的推动力量。因此，你显然是物理界的权威人士之一。但是，难道你从来没有过像我这样的忧虑吗？

我曾经身为皇家海军军官，但最后决定告别军旅生涯，寻求更普通的生活。不幸的是，我觉得投身物理学习，仍然让我的人生有所欠缺。我怕自己不能清楚地描述自己担心的事，但我希望你能了解我的意思。或许有一天，你愿意把你自己的想法告诉我，解除我的困惑，让我能安然释怀。

诚心诚意的

伍德沃德

费曼致伍德沃德|**1982**年**3**月**31**日

亲爱的伍德沃德：

增加知识和所谓人性化的生涯规划当然是不冲突的，不管你学的是什么，都一样。而且，就算你的教授和同学只知道某些事情，完全忽略

另一些事情（正如你说的“实验室门外的世界”），也不影响你一面学习他们所知道的事，同时深入了解他们有盲点的事。

当然，物理学课程里传授的东西，会令你感到有所欠缺。你不可能单靠物理，就想发展出健全的人格，生命里的其他部分也必须融合进来。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致法柏（**Yetta Farber**）|**1982**年**3**月**30**日

法柏女士写信来，提醒费曼在康奈尔大学的时候，曾经和她约会。信中说了一段故事，这故事令她每次在报纸上看到费曼的名字，就想笑。故事是这样的：就在他们开始约会之后不久，当地有个强奸犯作案。报上形容这个人“穿一件棕色或近似棕色的皮夹克”（费曼习惯穿一件棕色皮夹克）。这个社会新闻在康奈尔大学校园传了开来。“呀！我和一个很棒的家伙约会，他穿着一件棕色的皮夹克，说不定就是他。”因此，当你再打电话来约我的时候，我就推说：“抱歉，我没空。”

法柏小姐当年还认为费曼太年轻了，不可能是助理教授，一定是吹牛。其实费曼当时已经是正教授了。

亲爱的法柏：

我当时一直弄不清楚，为什么康奈尔的小姐和我出去约会一次之后，就不再和我约会。现在我总算明白了，原来是棕色皮夹克的错。

由于一直受到可爱女孩子（像你那样）的拒绝，我心灰意冷，于是

离开康奈尔，到加州来。这里的天气很暖和，我出门不必再穿皮夹克了，终于有女生肯和我约会一次以上，因此我娶了她。我一直都以为加州女孩比较有耐心、肯包容，但我现在终于明白真正的原因了。

比较起来，物理比女孩子好懂得多。

你的前约会男友

费曼

费曼致加州大学伯克莱分校物理系马拉斯（**Richard Marrus**）**|1982**年**4**月**30**日

亲爱的马拉斯博士：

我的一个学生汤玛斯（米歇尔注：是化名）要求我写信给你，说明一下他想申请到伯克莱分校去研究粒子物理的事情。

他是个优秀学生（我相信你手边一定有他的成绩单），有很强的独立性和自主性。在他学习量子色动力学时，我们经常有机会深谈，因为这正是我研究的东西。事情进行得可说相当顺利，他也经常提出深刻的问题。他离开我跑到你那里去，我觉得好可惜。我认为应该向你解释一下整个情况。

首先，他总是觉得加州理工学院的社交环境不佳，尤其是女生太少了。除此之外，这些年来，我们并没有许多优秀的学生，他觉得找不到可以互相切磋的益友。而他总认为，伯克莱的社交环境比较正常（我认为也未必）。他之所以一直没有采取行动，主要原因是他喜欢跟着我做研究。

但在去年秋天，我病得很严重，必须进行一项很大的手术。手术的

结果很可能回天乏术，或我从此无法再教书了。很幸运的是我逃过一劫，挺了过来。

这个不确定因素，加上他个人遭遇到一些挫折（他交往过一个女孩，但失恋了），使他很灰心，也非常困扰。他开始到加州大学洛杉矶分校去选课，做些研究，因为他的住所离洛杉矶分校很近。但我相信他仍在加州理工学院选了一些课。

他现在似乎已从挫折中重新站了起来，而且下定决心，要转学到伯克莱分校去。

总而言之，他是个好学生，我为失去他而感到惋惜。我知道他的申请太迟，但我希望你能帮点忙。我认为他的才华不应该虚掷。因此，如果你能收他，我会很开心。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致斯坦福大学物理系卡布雷拉（**Blas Cabrera**）|**1982**年**9**月**7**日

1931年，伟大的物理学家狄拉克相当肯定地表示，自然界一定存在“磁单极子”。这种基本粒子是磁场的场源，就像电子是电场的场源。而且他还预测了这种磁单极子产生的磁场强度。这项预测引发了许多实验，70多年来，许多人都在寻找这种磁单极子。

1981至1982年间，卡布雷拉博士刚刚担任斯坦福大学的助理教授，全心全力设计了一个很灵敏的实验来找寻磁单极子。他还为此特别设计了一种装置。称为“超导量子干涉仪”（SQUID, supercon-ducting quantum interference device）。1982年2月14日，卡布雷拉的实验出现一个骤然激发，很“符合”磁单极子通过实验装置的情形。很多物理

学家纷纷来打听实验结果，好像他已经找到磁单极子似的。但是卡布雷拉本人并不以为然。他发表了一篇论文，把实验的细节很直率而详尽地写出来。他解释，那个骤然激发确实符合大家期待的磁单极子现象，可用来决定自然界磁单极子数目的上限。卡布雷拉的论文在物理界引起一阵很大的震撼，很多物理学家误会了他的意思，把他的论文解读成他发现了磁单极子。

1982年5月，卡布雷拉在加州理工学院的物理研讨会上，发表他实验的细节。通常这种研讨会，费曼一定参加，而且会问主讲人很多问题，让研讨会生色不少。在卡布雷拉的研讨会上，费曼对于实验的细节，问了许多非常深入的问题。卡布雷拉显然对于自己在会场上的即席答复不很满意。回去之后，于6月24日写了一封长信来，进一步澄清自己的说法。“我想回答几个星期前在研讨会上，你提出来的问题。现在，我想更清楚地解释一下。关于超导量子干涉仪设备的作用原理，我的原始构想还是来自你《费曼物理学讲义》第三册里的叙述。当时我还只是弗吉尼亚大学的物理系学生……你的三册物理书，使我一开始就体会物理学的整体性和一致性。我要谢谢你。”他接着写了三整页的东西，详细说明相关的技术细节，还附了6张图。

亲爱的卡布雷拉博士：

我非常感谢你的来信，详细说明了超导量子干涉仪设备的作用方式与原理。

在你的研讨会后几天，我终于了解你所设计的装置的作用。因此，我在研讨会上问的问题和所做的评论，都显得很愚蠢。你这个装置的最大弱点，是通过线圈上的亚量子通量变化。（一个月前，我本想写信告诉你这件事。但因故没有写完全信，就没有寄出去。这一段话，是我从那封未投寄的信抄下来的。我现在有机会写完它了。）

有很多理论学家这样说你，“卡布雷拉说他找到了磁单极子。”但是我知道，你对自己实验结果的评估和态度，却保守得多。这种态度的本身更符合科学的精神与标准。因此，每当我听到人家这样说，就替你辩护，说你并不觉得自己走了那么远。确实，你的实验结果看起来像是磁单极子露出踪迹时该有的特质，但是实验结果只出现了一次，无法再度验证。所以，你对这个实验结果并不满意。（正如你在信里的倒数第二段所说的。）

不久之前，有位仁兄到我的办公室来，表示：近来的理论预测说，磁单极子会和质子发生强烈的交互作用，如果你的实验真的发现磁单极子的话，我们早就看到很明显的质子衰变了。他幸灾乐祸地说：“卡布雷拉一定尴尬死了。”我问他：“为什么？”“因为他说他发现了磁单极子呀！”

我很仔细地，把你对这件事的看法和立场解释了一遍，然后问他，如果他换成是你，会觉得如何？其实我们对磁单极子的特性，还所知有限，很可能今天的美丽新理论都还无法正确推测。有些理论物理学家并不了解理论和实验之间的关系，不了解他们的理论若要成真，应该具备什么要件、经过什么样的验证。

因此，继续进行你那漂亮的工作。如果大自然再度对你眨眼，发个电报告诉我！

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：大自然并没有再度眨眼。截至2004年，卡布雷拉的实验结果仍是最接近磁单极子存在的事件。卡布雷拉后来成为斯坦福有名的正教授，仍积极从事基础物理的实验。

费曼写给温妮丝和米歇尔的长信，题目叫《财富的诅咒》**|1982**年**9**月**12**日

亲爱的温妮丝和米歇尔：

昨天，唐纳德带我去看一个人。他说我一定会觉得很有意思的。我现在就把整件事从头到尾告诉你们。这个人叫作欧罗兹科，是个玻利维亚锡矿企业家的孩子，从父亲那里继承到一大笔财产。他在附近买了一处产业（其实是个大农场），正在将老旧的建筑物改建，听说已经施工7年了，不知道什么时候才会弄好。我们是开着唐纳德的劳斯莱斯轿车去的，而且开车的是我。这又有另一件趣事。前一天晚上，我们一起出去时，唐纳德喝醉了，但仍坚持要开车送我。为了安全起见，我骗他说我从没有开过劳斯莱斯这种名贵的车子，请他让我过过瘾。他就答应了。因此这天早上，为了不戳穿昨晚的善意谎言，我还是表现出很想开车的样子。

当唐纳德告诉我“到了”的时候，我吓了一跳，老实说，还相当失望。我本来以为会看到一个富丽堂皇的入口大门的，却只看到由一些木架随随便便搭起来的入口处，就像普通的小工地一样。但是欧罗兹科已经站在那里迎接我们了。他个头瘦小，颇为英俊，看起来大约是55岁，相当精明干练的样子，表现得很殷勤。当唐纳德告诉他，我批评入口大门不是很华丽时，他只是笑了笑。接下来，我们开车到附近的饭店去，他的态度一直很平和，彬彬有礼，让人颇有好感。渐渐地，我由一些小动作看出他机智的一面。（当我到停车场停车的时候，他私下问唐纳德我是干什么的。唐纳德告诉他，我是个大学教授时，他有点惊讶，“大学教授怎么会开劳斯莱斯？”唐纳德并没有说穿真相，其实车子是唐纳德的。）

但是接下来。谈话内容就变得比较不好玩了。首先，他表示这家饭店不是吃简单午餐的好地方，因为这里供应的食物并不自然。他提出一

些和动物习性有关的模糊概念，来佐证自己的说法。我们很快就看出欧罗兹科先生是个有原则而且正直的人，他一再表态，人应该节制欲望，要自制，要为生态或环境做些牺牲。另外，他对美国的道德沦丧也感到忧心，他认为这种情况主要是媒体造成的。

唐纳德告诉他我最近动过大手术，他听了之后，露出一种难以置信的表情。他说因为我看起来气色太好了，完全不像是动过大手术的人。接着，他很正经地告诉我，如果我一直保持这种乐观的态度，他“可以确定”我的癌症一定不会复发。我听了微微地笑了起来，他追问我是不是在笑他说的话。我说：“是的，我觉得自己好像在一个算命师的帐篷里。”接着我解释，自己对这个世界并不像他这么有把握。他不同意我的看法，举了一个例子，说他母亲活到80岁，一直都健康良好。但后来只因为三件忧心的事，就与世长辞了。第一件是什么事，我已经忘了。第二件事是他们兄弟失和，从此各奔前程，老死不相往来，失和的原因据他说，是因为他兄弟偷他的钱。（他兄弟显然不是很成功。我在后半段的信里会提到。）第三件是好几年前，他女儿被人家绑架，付了很多赎金才救回来。女儿现在已经15岁了。

最后这件事是个悲剧故事。她被绑匪拘禁了好几个月。绑匪要求250万法郎的赎金，必须全是100法郎的小面额钞票，还不能连号。他数2.5万张钞票，数到手指破皮出血（唐纳德在先前已经告诉我这件事）。女儿安全获释之后，对于绑匪的情况和遭拘禁期间的生活，坚决不肯透露。她只说绑匪警告她，如果露了口风，会杀死她爸爸。过了好久，他们一家人才走出这件事的阴影。

欧罗兹科说了很多他早年生活的事。譬如他的家庭女教师经常痛骂他，因为他个子小，又带有一点点印度人的血统。而他老是很惭愧自己继承了一大笔财富，他觉得自己对这些钱的赚取没有丝毫贡献和功劳。当然这些自我表白是有心理分析师来帮助他做的。另外有些故事和他成

长的天主教环境有关。后来为了自我改善，他又改信了新教，但是到了现在，他什么宗教都不相信。因为他怀疑上帝，为什么早知道一个人会失败，还要来考验他，还要来折磨他。另外有件事他也无法理解，在女儿绑架案很危急的关头，有一次他发现自己竟然不自觉地跪下来，对上帝祷告。他问我这代表什么意义，是否可以证明他理性的焦虑是真实存在的。我告诉他，自己像他一样，也是很坚定的无神论者。但在他那种情况下，我相信自己也会跪下来祷告的。碰上这种无助情况的时候，一个失去希望的人，难免会发出这种苦闷的呐喊。他听了我的回答，显得很高兴，喃喃自语地说："不错，事情就是这样。"

用过午餐之后，我们又回到他的房子去。这时候简陋的入口大门已经打开了。我们经过几个温室、一些锯倒的树干、几部混凝土搅拌机，来到一栋方方正正的大房子前。这房子以前是粮仓，现在已经整建完毕，但看起来还是没什么趣味。这时候，有两条很凶恶的大狼狗咆哮着冲过来，但它们只让我想起我们以前养的巴夏。倒是唐纳德显然有点怕狗。欧罗兹科再三保证，这两只狗不会咬人，没什么关系的，一面尽力用手抓住它们的颈圈；但狗儿显然不太愿意听话。我们没有先进屋，而是走向屋后的一大片绿地。这里绿草如茵，是一个很繁茂的果园，果树结实累累。欧罗兹科带我们走进果园参观，告诉我们这是一种非常珍贵、稀有的西洋李品种。并且腾出一只手来，摘些李子请我们尝。因此，有只狗就给放开了，绕着我们一边吠，一边打转。

主人又再三保证，这只狗不咬人的。我很相信他的话，我看得出这两只狗只是好嬉戏，想逞能，就像小孩子一样。我伸出一只手，让那只狗闻闻。主人却高声警告我，不要想去摸那只狗，那是有点危险的。当那只自由活动的狗挡在唐纳德身前时，他有点害怕而稍微停了下来，但欧罗兹科先生却说："不要突然停下来！"又说："不要表现出害怕的样子，因为狗会嗅出你的害怕而更加激动。"那只活动的狗又跑到我身后，伸出鼻子闻闻我的大腿。其实它只是想和人嬉戏，但欧罗兹科先生

完全搞不懂狗儿的心理，只是喋喋不休地说“别管它们，它们不会怎么样，不要伸手去碰它们，否则它们可能会发恶”之类的话。我认为，虽然狗儿乱吠并不可爱，但它们基本上是相当和善的。

接着，我们进了屋子。这是一栋以大理石为主的建筑——大理石地板，大理石梁柱，大理石阶梯，什么都是大理石的。起居室非常大，有10米高，两侧各有一大片玻璃幕。我不愿意说它是窗，说是商店的橱窗倒还有点像，只是它们更加巨大。墙上涂着白色的灰泥，挂了6幅超大的中世纪挂毯。有两座巨型的镀金烛台，由天花板垂挂下来。自从我进入这个空荡荡的大理石房子之后，还没有看到半件家具。但起居室里其实到处都是他母亲收藏的古董家具，只是都还放在条板箱里没有开封，因此我们什么都没看到。他说了很多次现在房子里摆了这些箱子之后，变得多么杂乱（搬进这些箱子之前，这屋子已经装修了7年，而且他搬进来之后，也已经住了1年半），而且他也说了可能采取的对付手段：他有一天会把这些箱子从屋顶推出去。屋外铺的，是一些老旧的陶瓷地砖。

接着，我们进了一间大小还比较正常的房间，只是它异常地狭长。房间中央摆着一张很狭长的古董餐桌，大概有5米长（我觉得地上好像画了记号，桌子应该放在那里似的），搭配6张古董椅，还有成套的餐具柜放在旁边。桌上有个古里古怪的古董烛台，插着3根蜡烛。这房间的墙上灰灰的，还没有完全上漆，墙上还有工匠留下来的铅笔记号。另外装饰着几幅由古罗马房子拆下来的古画，大概是来自庞贝古城。主人介绍说，这些画都带有强烈的神话含义。最完整的一幅很简单，只是一只吃无花果的鸽子。这些画的色彩都很黯淡，画作边缘还有一圈橙黄色，而且边缘并不整齐，表示它们是从别的墙壁上弄下来的。最大的一幅画，画的是三个裸女和一座喷泉。唐纳德和主人很认真地讨论这幅画是不是挂太高了。我后来才搞清楚，他们谈论的高度差异居然只有4厘米而已。真是闲着没事干。

当我们走近房间的一侧时，欧罗兹科先生说：“我们到厨房去看看吧。”我才知道有一扇没有油漆、看起来很像墙的门（其实到目前为止，这房子到处都是还没完工似的模样）。更奇怪的是，门上并没有把手。推门进去之后，我们进入一间和其他房间呈鲜明对比的现代化厨房。这里设备齐全，有全套高级橱柜、铜水槽和现代化的水龙头。除了角落有3个大木桶（每个直径1.2米，都用油布盖着）之外，一切都很正常。而在厨房中央，还有一件你想象得到的家具，就是一张桌子。桌上有半条吐司，听说是他太太亲手做的。他当场切了一块请我尝尝，还涂上他太太做的果酱，就是他果园的果树生产的西洋李，味道相当可口。

接下来，我们参观他的图书室。为了要进图书室，我们必须爬上一道很高很窄的大理石阶梯，它让我想起玛雅人的金字塔。图书室非常大，复合式的地板上铺着棕色地毯。到处都是书架，架上摆满了书。有些是珍贵的古籍，如《罗马艺术里的动物》《希腊水瓶》之类的；几乎各时代、各种语言的书都有。这房子已经完工一年半了，但他还不会有时间坐在这里看书。图书室没有椅子，不过可以坐在地板上。欧罗兹科问了我一个问题，就是有个门，上面画了一个圆圈，写了几个数字，例如1562、1563等。他问我这有什么典故。我建议他不妨就在自己的图书室里找找，说不定就有答案。

我们四处参观的时候，不时传来一阵工具凿水泥的声音，好像房子的某处正在施工。我们走过一道阶梯（当然也是大理石啦）上去之后，看到屋里有一座很大的金库（现在还是空的），两扇厚达半米的钢门，还装置了所有银行金库该有的锁。而且这两扇门，比我看过的任何金库门都更宽些。有个工人正沿着墙脚，凿一条很细的排水沟，预备给装在金库的冷气机排水之用。

有几个房间还摆满了条板箱，有些箱子已经开封了。主人指着一块很奇特的木雕板，问我：“你猜猜看它是什么地方来的？”我猜错了。他

说他也忘了这东西的出处，只记得那是个T字开头的岛屿。我们又连猜了几个，他说都不是，他不记得会是其中之一。

我不再带着你们上上下下，在房子里绕来绕去了。正当我们准备离开，他给我们一些李子时，他忽然想起还有一尊玛雅的石雕像没有给我看（午餐交谈的时候，他知道我对玛雅文化有兴趣）。我们于是进了另一个房间，那尊石像就盖在一张半透明的塑料布下。掀开塑料布来仔细欣赏，那是个大约有2/3真人大小的白色石雕人像（应该是软砂岩），以很奇怪的姿势站立着，一只手很优雅地高举过头，而脖子却扭向一侧，好像无法负担头部的重量似的。虽然如此，它可不像一般的古老石雕，在头上有很多装饰，只在耳朵上有件饰物，年代应该不会太早。但是这个房间里最值得一提的东西，倒不是这尊雕像，而是一块块放得到处都是的壁画原作，全都是暗红色的，应该是有什么东西覆盖在上面保护。怎么可能会有这些东西？只有一种可能，就是来自发现古代岩壁画的博南帕克山洞，因为画上人物的姿势，就像博南帕克岩壁画上描绘的，绝大部分是囚犯。我问他这些东西是从哪里来的，是不是博南帕克。他说不知道。但或许他知道，只是不肯告诉我。因为把这些东西运出墨西哥，是违法的。（唐纳德说，要把罗马的古画运出意大利，也是违法的。他常听到欧罗兹科在电话里，以很低很低的声音，安排各项细节。而欧罗兹科的太太和女儿，是唐纳德太太和女儿的好朋友。欧罗兹科坚持要他太太自己做面包和果酱。我认为这件事对她很好，至少可以让她比较接近大自然。）

我离开之后再稍微想一想这件事，发现我原来认为蛮和善的欧罗兹科，其实是很恐怖的超现实怪人。想想他们三个人，他、他太太和女儿，坐在那个只有三根蜡烛的幽暗房间里吃晚饭（欧罗兹科其他的孩子都在外就学），房间里还没有装电灯。四周都是颜色黯淡的、阴森森的古画。这是个专横、自以为是、假道学的人，蛮横守着他所谓的原则为乐，包括要太太亲手做面包、制果酱。他令走狗守在门外，让屋里备妥

的金库收藏其他民族的文化遗迹。玻利维亚的锡矿成就了这一切，也支配了这一切。那些不是他赚来的钱，正耗费在收藏其他文化的古物上。他觉得这样才能弥补心里的罪恶感。

他没有朋友，他的世界已经被疯狂地扭曲、变形了。像这样，根本就是一种财富的诅咒或枷锁。

我爱你们

理查德

附笔：这也提醒了我，我们银行负债的问题解决了没有？

约翰霍普金斯大学物理系亨利（**Richard C.Henry**）致费曼|**1982**年**12**月**2**日

亲爱的费曼教授：

我是个寄身在物理系的天文学家。由于必须配合课程安排，教授物理课。后来我渐渐发现在教物理课的时候，有很多乐趣，和教天文学不同。我把这些乐趣的一部分发表在《物理教师》上（随信附一份副本）。如果你能抽空看看，或者给我一些指教，我会非常开心。

我之所以写信给你，是因为我到佛罗里达度感恩节假期的时候，为了消遣，看了一本艾丁顿写的《相对论的数学理论》。他对方程式的叙述非常好，几乎和你在《费曼物理学讲义》里说的一样好。但是有个很有趣的问题，他却无法用文字的叙述来讨论，也无法以数学形式来讨论。这个问题是：若有一个三维空间的世界，具有两个时间维度，会是什么样子？（请看所附的艾丁顿的书。）

我问自己这个问题，也问过研究所的同事，甚至在一次聚会里问过

米斯纳，但至今还没有答案。首先，我自问：是否二维的时间尺度是不可能的，这样才会产生量子物理这种好玩又奇怪的东西？最近，我又觉得答案可能很无趣：完全相同的时钟，有不同的走速，如果它们撞在一起，走速就改变。

如果答案很有趣，会不会是一篇很好的题材？或许你可以动笔，投给《物理教师》？这只是一个建议。谢谢你看我的信。

诚挚的祝福

亨利

附笔：我还没有把这封信转知《物理教师》期刊的编辑。因此，没有任何“令人失望”的压力存在。

●中文版注：

艾丁顿（Arthur Stanley Eddington，1882～1944）是英国天文物理学家、数学家，他的工作奠定了现代天文学的基础。1919年他率队在西非外海的一个普林西贝岛上，利用日全食的机会观测到星光偏折的现象，证实了爱因斯坦广义相对论的预测。《相对论的数学理论》是他在1923年所写的，受到爱因斯坦的高度赞赏。米斯纳（Chales Misner）是美国马里兰大学名誉物理教授，广义相对论专家。

费曼致亨利|**1983**年**1**月**7**日

在这封给亨利博士的回信里，可能是唯一提到我父亲和我哥哥之间亲密关系的一次。他们一向很亲近，从卡尔的青少年起，两人就合作无间。他们常常一起散步，讨论相当技术性的想法（我知道，因为我常当跟屁虫，紧跟在后面走。同时自怨自艾，都没人理我）。

我父亲对电脑的兴趣，可以说是受到卡尔热情的感染。他们两人共同保存着一本记事本，上面记的都是他们解决过的电脑问题。卡尔在麻省理工学院就读的时候，常常把电脑课的笔记本寄回来给我老爸看。在“加州理工学院档案”里，有一封完全是技术性讨论的长信，就是老爸在那段时间写给卡尔的。在这封打好字的信末尾，老爸亲笔写了一句话：“继续加油，爱你的老爸，费曼。”在我父亲的生活里，有卡尔这样的孩子，是他很得意的事。他们两人同声共气，说他以卡尔为傲，那是太轻描淡写了。

亲爱的亨利教授：

正好前几天，我和儿子卡尔在墨西哥的海滨度假，我们讨论了两个时间维度和两个空间维度的问题与情况。这件事想起来当然很有趣。卡尔发展出一种视觉化的几何方式，就像一个平面的每个点上，都可以有个小的二维图像之类的东西。我们发现可以用这种东西来讨论一些运动学上的问题。不过我已经忘了这个东西的细节，也不知道他回学校之后，有没有把这个问题继续发展下去。如果你想问他，他的地址我写在下面。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：亨利教授并没有继续向卡尔请教这个问题。

费曼致坎普（**Beata C.Kamp**）|**1983**年**12**月**28**日

加州的坎普小姐写信来，说当地的PBS电视台播放了3次费曼的《发现的乐趣》，她都从头到尾仔细观赏。来信除了表示对费曼的敬佩之外，她提议费曼不妨也去“探索精神层面”的问题，就像她和她表哥那样。她认为像费曼这种追求硬知识的人，探索心灵一定也成果丰

硕。“你发掘出藏在物质里的秘密，靠的是自己的脑力。而我却聆听心灵发出来的寂静的声音，告诉我事情后面的真相和神秘。”

亲爱的坎普小姐：

谢谢你那封有趣的来信。

当然有些东西比知识更神秘，而且除了科学之外，应该还有其他的方法，也能提供所谓的真相或事理。我喜欢科学方法，这是因为当你想到一些主意时，可以设计出若干实验，看看自己的想法到底是对是错。大自然会通过实验的结果，告诉你是否正确。之后你就可以顺着正确的道路走下去。其他形式的智慧，并没有同等的确认方法去分辨真实和假象。因此，我选择用简单的方法走简单的路。你和你表哥所追求的，是一种更困难的事情，可以指导你们的东西更少。

希望你的努力有结果，祝你好运。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致**BBC**电视公司赛克斯（**Christopher Sykes**）**|1983**年**3**月**11**日

《发现的乐趣》在美国的电视台，是安排在《新星》（Nova）节目中播出的。

亲爱的赛克斯：

《新星》节目总算大功告成，我们应该为它喝彩。

这个节目非常成功，我接到所有朋友来自四面八方的好评。很多喜爱这个节目的陌生人也写信来称赞。不过结果不太公平，就是我得到如

潮的佳评和满堂的喝彩，你却只得到一些轻描淡写的评论，像是“总算没有问出一些愚蠢的问题”之类的。很少人知道（就连吃这行饭的人也包括在内），这个节目到底是怎么做成的。他们得到的印象都是我只要坐着，张开嘴讲一个钟头就行了。就像一些美妙的艺术作品，看起来那么自然、那么奇妙，好像它本来就在那里似的，创作的艺术家反而隐而不显。

你我都知道其实是怎么回事。三整天的访问，才得到4个小时的毛片。最后还要剪接成1个小时的节目。但你的原始构想是如此细腻，又如此周全，设计出的对话又如此自然，使它变成一个出类拔萃的好节目。恭喜“你的节目”红遍了整个美国。

《新星》节目的工作人员说，他们存有录音带。但依从前的《新星》节目的经验来看，索取剧本的人比索取录音带的人多得多。我自己看过一份这类的剧本，是以前的《新星》节目的剧本。看了之后，心里还是吃了一惊，觉得很不满意。不但文字生硬、很难阅读，连句子都很少是完整的，语法之差更不必说了。

我还没有费多少心思在新节目上。但我已经学会了相信你的专业判断，那比我的判断正确得多。因此，如果你说它们OK，那它们就OK。我知道所有的心血都是耗在剪辑室里。

祝你好运。

理查德·费曼

费曼致威克斯（**Dorothy W.Weeks**）博士|**1983**年**2**月**25**日

麻省的威克斯小姐写信来称赞：“你的《新星》节目真是超棒的。”接着他提到费曼在节目中说的一段话。费曼说，对于他的物理故事，儿子和女儿的反应完全不同。威克斯女士说，她也注意到男孩子和

女孩子在学习物理时表现出来的差异。另外，她想知道费曼自己认不认识一个控制论（cybernetics）怪才，名叫维纳（Norbert Weiner，1894～1964）。

亲爱的威克斯博士：

谢谢你的来信。我的两个小孩对我的物理故事，反应完全不同。但我并不认为原因是出在他们一个是男孩、一个是女孩。我认为每个人都是不同的个体，即使我有两个儿子，他们的反应可能也会是不一样的。

当我是麻省理工学院的学生时，维纳就已经在麻省理工学院教书了。我是常常看到他，但对他并不熟。

诚挚的祝福

理查德·费曼

美国自然史博物馆人类学馆长卡内罗（**Robert L.Carneiro**）致费曼**|1983**年**2**月**1**日

亲爱的费曼教授：

前几天在电视上，看到介绍你的生活和你的物理研究工作的一个节目《新星》，我觉得非常有启发性，让我受益良多。我有个1岁的儿子，现在正是应该开始注意他的教育问题的时候。在节目里，听到令尊如何用巧妙的方法，引导你朝科学方式上去思考，最后终于走上科学家这条路，让我印象非常深刻。从你的成就，可以证明他的引导方式是相当成功的。我决定自己也拿来用用看。

现在，我要谈到这封信的主题了。在节目的某一段谈话里，你对社会科学的想法，持一种相当保留的态度。这对我并不是一件新鲜事。多

年以来，我觉得很多自然科学家对社会科学都有些贬抑、有些误解。但我很想试试看，能不能使你改变这种态度。

物理学家（或一般人）对社会科学之所以不以为然，主要有两个原因。首先，他们认为社会科学天生就不太可能是科学的一支，因为它研究的对象是人和社会的特性，而人的本性是变幻莫测的。其次，它不可能实际检验，因此是不存在所谓科学的。我们就依序来谈谈这两项假设。

我们都知道进化的过程，是一系列组织层次的提升，愈来愈趋于复杂。如果说进化进行到某个很高的层次，譬如说产生了文明之后，原来运作得好好的因果关系，忽然就中断了；那些在其他进化层次所具有的模式、秩序和规律，完全不再适用。这不是一件很奇怪的事吗？而这些模式、秩序与规律，正是所有科学的基础。这种不合常理的事，不但我不相信，我敢说，你也不会相信的。

现在，我们再来谈一般人的第二个瞧不起社会科学的原因。可能就是社会科学的叙述方式和专有名词，使它看起来一点也不科学，这当然是一项不争的事实。但是你或其他物理学家能不能花点心思，来看看我们这个社会科学领域里的人到底做了些什么事？不要就这样一味主张，我们所作所为的一切，都不能算是纯正的科学。我不认为你会这么武断。

说了这些之后，我很鲁莽地随信附上几篇我所发表的论文的抽印本给你。我尽量以科学的观点，来研究社会系统里面某些确定的特质。我的看法是，在这些研究过程中所发现的一些规律，可以用科学方式来陈述与表示，也应该可以视为科学。

我知道你有很多更重要的事在忙。但或许你有足够的好奇心，想知道我们自命是科学家的这批人，到底在玩些什么把戏，而且所谓的社会

科学又是些什么玩意，会大略地看一看我寄给你的东西。那样，你或许会重新评估一下，社会科学到底是不是科学。

不用说，我当然很希望能够得到你的回信，不管你的结论是什么。

诚挚的祝福

卡内罗

费曼致卡内罗|**1983**年**2**月**28**日

亲爱的卡内罗博士：

当然，你是对的。

我在提到伪科学的时候，不经意说到社会科学。我这样说是很不恰当的。我在说这些话的时候，心里想的是"很多东西挂着科学的名义，其实根本不算是科学"。当时，我心底真的没有涉及人类学、历史学、考古学等学科。我当然承认它们都是科学，也不愿意用含混的态度，一竿子打翻一船人。但是这种无心之言，的确已经对一些领域造成某种程度的伤害。我为此向你郑重道歉——但恐怕已经于事无补了。

诚挚的祝福

带一些自责的

理查德·费曼

附笔：今天晚上，我准备放松一下，好好阅读你寄给我的那些论文。

卡恩（**Judah Cahn**）致费曼|**1983**年**1**月**26**日

卡恩博士在1946年主持了费曼父亲的丧礼。

亲爱的狄克：

距离我们相互通信，已经好多好多年了。昨晚我很幸运地在电视上看到你，你的表现简直棒极了。令我非常感动的，不仅是你回忆了你的父亲，同时你介绍了你的论文教育与生命哲学。

我很高兴地告诉你，我的孩子也跟随着你的脚步。长子史蒂夫，曾任佛蒙特大学的哲学系主任，现在是华盛顿国家人道捐款基金会的会长。次子则在教英文。

随信附上一本我写的书给你。这书虽然不算什么，但也代表了我对自己处理过的事情的想法。希望你有空的时候，稍微看一下，再把你的想法告诉我。

我们上次通信的时候，我曾告诉你，我到苏联做了一趟大范围的旅游，并且在很多大学和教师举办研讨会。我并没有提起，我和朗道曾有过短暂碰面的机会。这是发生在他出那场可怕的车祸之前，而他的出现，让我觉得非常荣幸。我不知道你是否曾经见过他。他是那种非常特别的人，你一眼就看得出来，知道无法把他归类。他一定具有很强的幽默感，否则不可能经历那么恐怖的审判而活下来。我在附给你的书上，也提到他的故事。

我还没有从犹太牧师职务退休，也还要享受阅读与写作的乐趣。我永远不会忘记当年你在以色列教堂的聚会里所说的话，我现在经常引述。我怀疑你是不是还记得。当时你谈论的主题是原子弹，你的讲稿准备得很完整。在演说过程中，你忽然脱离了讲稿，大声地对某些不特定的对象，而不是对与会者说话。我还记得你说的话，可能并不完全精确，但一定很接近。你说：“有人要我帮忙，制造全世界最具毁灭力的

装置。但从来没人问我该怎么用它。现在我终于知道我干了什么事，也知道这些装置可以做出什么事来，我有些恐惧。”在说了“我有些恐惧”之后，你就坐了下来。狄克，当你走回座位，坐在我旁边的时候，我永远不会忘记你那时脸上的表情。你不是个信仰很虔诚的人，严格说起来，我也不是。但你说的话真的应验了。现在不只有你不安，我们所有的人也开始觉得不安了。

我重读了你的一封信，你在信中表示，如果有一种没有上帝的宗教，你或许会了解它。因此，我寄了一本我那个学哲学的长子所写的书给你，书里有这个问题的答案。他有机会也许会出差到加州去，如果他抽得出时间来，你也方便的话，或许你们可以通过电话联系，或见面聊聊，我会很开心的。

我也寄一本次子维克特写的书给你，这是他早年写的书。我挑这本书给你，他一定不以为然，但我自己很喜欢它。我想，像你这么喜欢笑的人，一定也同样会喜欢的。维克特的其他著作，都和剧作家斯托帕德（Tom Stoppard）的荒谬剧有关。

希望你全家平安快乐，而你继续保持成功快乐的生活。

深深祝福你

犹大·卡恩

费曼致卡恩|**1983**年**3**月**15**日

亲爱的犹大：

多么美妙，居然能接到你的信。你有那样的好儿子，确实值得自豪。我也一样。我同样有两个孩子，一儿（21岁）一女（14岁）。儿子在麻省理工学院攻读电脑，很快就要毕业了。女儿则迷上了马术和大提

琴。

你可能还记得我母亲。她大约一年前过世了。我母亲非常喜欢你，经常追忆起你和以色列教会。

我最好奇也很感兴趣的事，是你对我在以色列教堂演讲的记忆。我已经不记得自己确实讲过什么话了。如果你问我的话，我依稀记得自己讲过什么话。那时应该是所谓的“兄弟周”，我很慎重地说明了原子弹是什么玩意儿，因此，领先敌人把它做出来，是件多么重要的事。然后，我说了：“但这整件事出了严重的问题。人类应该像手足一样，兄弟之间应该基于爱而不是恐惧。”接着坐了下来。

我好奇的是，我们的老记忆到底有多可靠？在我们回顾往事时，这些记忆的片段又是怎么出现、怎么构成的？或许我们记得的，只是我们想说的话，而不是真正说过的话。你的记忆可能比我的更准确。我很可能说了你提到的那些话，因为它的确表达了我当时的心情。

谢谢你的来信。

诚挚的祝福

理查德·费曼

休斯敦（**Heidi Houston**）致费曼|**1983**年**5**月**2**日

亲爱的费曼教授：

我认为你在上星期物理座谈会上的评论，是自大、粗鲁而不一致的。而且你的态度对学生（或者是博士后研究员？）产生了不良的示范。那些坐在你旁边的学生一直交头接耳、痴痴傻笑，显得无礼而吵闹。请你稍微注意些。

但我个人对你，还是保有很高的敬意。

诚挚的

休斯敦

费曼致休斯敦（写在办公室便条纸上）|**1983**年**5**月**13**日

谢谢你对我在座谈会上行为的指正。你或许是对的，我会注意些。

费曼致瓦利（**Bob Valley**）|**1983**年**10**月**14**日

瓦利先生是我的高中代数老师。他认为我解题的方法不正确，给了我很低的分数。详情我在本书的前言中已经介绍过了。

亲爱的瓦利先生：

我为上星期二在学校对你的批评道歉。我那样的行为完全是没必要的。而且在和一些对你比较熟悉的人谈过之后，我发现我那天对你的批评是不公平的。我弄错了，希望你能接受我的道歉，原谅我的出言不逊。

如果你对我想表达的数学概念有兴趣，我把它附在信里，供你参考。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致伦敦的贝斯特（**Frances Best**）|**1983**年**11**月**2**日

贝斯特小姐是个19岁的学生，最近开始读《费曼物理学讲义》。她发现自己很喜欢物理。因此，她爸妈就每星期花1小时，为她讲习物

理，她也非常喜欢。不幸的是，她的期末考试成绩并不好，使她没有办法进大学。于是她写信给费曼，寻求一些指点。

亲爱的贝斯特小姐：

我接到你的信，为你想要进大学研习物理所遭遇的困境，难过得掉泪。你发现了物理的美妙而这么喜欢学物理，这是很棒的事。大自然确实是很美妙的。

当然，学习物理最好的方式还是进大学。但很不幸的是，你发现自己进不去。

我不太熟悉英国的教育体制。在美国，我们有各种不同的学校，其中有大有小，有公立的，也有私立的，各有不同的专攻领域与项目。因此，有人即使进不了他原先选择的学校也一定可以找到一所他能就读的学校。我想，这件事我恐怕帮不了什么忙，我只能给你一些老生常谈的建议，就是一切还没有定论，你还年轻、强健，只要坚持下去，应该会成功的。我想你以前一定想过或听过类似的事情——年轻人就是没有耐心，对时间显得很急躁。

很抱歉，我对你的遭遇除了深表同情和陈腔滥调之外，帮不上什么实际的忙。很高兴听到你说觉得我的书有些用处。希望它不会让你觉得太难而倍感挫折，而是能带领你细察大自然的美妙模式，引起你的愉悦。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致布莱维提尔（**Paul Privateer**）|**1983**年**11**月**9**日

看过《新星》节目之后，圣何塞州立大学英文系的布莱维提尔博士写信给费曼，表达他对这个节目的喜爱。但他怀疑，科学和文学是否有相通之处。由于费曼在节目中举了一个史例：“诗人布雷克（William Blake，1757～1827）对牛顿怀有公开的敌意……他认为牛顿把宇宙弄成机械式的，只能依循定律而运行，否定了想象力在人类经验上的崇高地位。”布莱维提尔于是邀请费曼，在科学和文学对话的研讨会上做一场演讲，“我非常期待你的这场演讲。就算你自称，自己的文学素养很缺乏，我也知道这是你的谦虚之词。”

亲爱的布莱维提尔博士：

非常感谢你写这封长信来，给我关于《新星》节目的指教，并邀请我参加科学和文学对话研讨会。很惭愧，我当然无法接受邀请在研讨会上演讲，我真的完全缺乏文学素养。这可不像你想的，只是自谦之词。伪装是骗不了内行人的。我之所以知道布雷克对牛顿的看法，那只是偶然的小插曲。因为我们这里有位非常迷人的英国文学教授，我请她吃午饭时，她告诉我的。而她是布雷克迷。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：费曼在信里提到的，加州理工学院的英国文学教授，就是前文提过的勒蓓尔。她和费曼讨论布雷克对牛顿的看法，并且让费曼看一幅布雷克所画的彩色作品，把牛顿画在海底。费曼很喜欢这件作品。

费曼致莱斯（**Jack M.Rice, Jr.**）**|1983**年**11**月**11**日

《洛杉矶时报》登载了一篇文章《诺贝尔奖的另一面》，费曼在文章里提到自己得奖时，那种又高兴又怕成为公众焦点的矛盾心理。莱斯

先生看了这篇文章之后，写了一封很唠叨的长信来。他的结尾说：“你可能是故作潇洒，对诺贝尔和他的奖项表示不在乎。但这只表示你是个脾气很坏的讨厌鬼罢了。”

亲爱的莱斯先生：

谢谢你来信提到我在《洛杉矶时报》上的某些陈述。你说得没错，我可能是脾气很坏的讨厌鬼，才会如此对报社记者忠实表达出自己对得奖的感觉。其实我讲过这些话之后，就有点后悔，一直想打电话给他，请他把这段谈话拿掉，但就是联系不上，我也没有办法。

我对诺贝尔奖的感觉，可能有点幼稚或孩子气，但却是真实的。我在当天清晨4点左右，就被纽约一位记者的电话吵醒，他告诉了我这件事。诺贝尔奖委员会并没有事先告诉我这消息，也没有问我想不想接受这个奖。按我的个性，若我事先知道，我会安安静静地婉谢这份荣誉。但知道得太晚，已经不可能了。如果报纸的记者都已经知道我得了诺贝尔奖，我再公开拒绝，引起的骚动会更大，会激起全世界的注意，那就太造作了。

得奖之后，我平静的生活受到很大的干扰。不管它应不应该，或者你觉得事情怎么演变成这样子，或是不管你喜不喜欢；对我而言，我的生活的确受到某些干扰。另一方面，就像你指出的，我公开这样说，真是个令人讨厌的老鬼。真可笑，我居然在报纸上公开抱怨说自己不喜欢曝光过度。

在你的话里，好像觉得我批评诺贝尔奖，就等于在批评瑞典人或诺贝尔本人似的。当然我并不是这个意思。我和我太太到瑞典领奖时，受到了热诚友善的欢迎，正好稍可弥补这个奖带给我的困扰。我有许多瑞典籍的朋友和学生，他们都是很棒的人。如果你觉得我的想法是负面的，那可真令人遗憾。

我不熟悉诺贝尔先生的生平，也不了解他提供这个奖的真正动机。如果我在受访时对他个人有所批评，那一定是无心之言，我不知道自己在胡言乱语些什么。

但愿在你生命里，有许多荣耀等着你。我知道你会表现得比我更优雅，进退得宜。

讨厌鬼

理查德·费曼

费曼致梅曼（**David Mermin**）|**1984**年**3**月**30**日

梅旻是康奈尔大学的教授，也是杰出的物理学家。他和费曼一样，喜欢用简单优雅的解释来说明复杂难懂的物理现象。1981年，他发表了一篇量子力学的论文，让费曼看了很开心，因此写了下面这封信给他。

亲爱的梅旻博士：

我知道的最漂亮的一篇物理论文，就是你发表在《美国物理期刊》第49卷（1981年）第10期的那一篇。

从我成熟以来，就一直致力于用简单的语法，把量子力学的一些奇异特性表示出来，而且我希望做到简而再简的程度。我发表过许多场演说，总是说得愈来愈简练。最近已经做到和你相当接近的程度了，例如用3句话来代替原来的6句，等等。但是当我看到你所做的介绍，竟是那么简单、明了，实在自叹不如。

因此，在最近的演说场合里，如果提到这个议题，我几乎都是借用你的说法。当然会特别提到这是你说的。谢谢你了。

我还试过几次，设法说明自旋与统计之间的关系。但是不太成功。

你能不能也试试看？或许我们哪天有机会碰面，可以讨论一下要怎么说明两个粒子互相交换时，就相当于把其中一个粒子旋转360°，而另一个却保持不变。我们都知道这种现象，问题是该怎么解释？

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：所谓自旋与统计之间的关系，费曼指的是基本粒子的自旋角动量（spin angular momentum，以普朗克常量为单位），在统计物理学意义上若都是整数，就可以处于相同的量子态（也就是彼此在同时同地做相同的事情）；若基本粒子的自旋是半整数的，那就永远不会处在相同的量子态。许多重要的物理现象，都是由这个“自旋与统计之间的关系”来支撑的，例如激光束的激发、固体物质不是那么容易被压碎。费曼想找个简单的方法来解释这种关系。费曼和梅旻都知道，不管是什么基本粒子，都具备一个简单特性：两个粒子无论自旋是整数还是半整数，如果是可以互换的，得到的结果和把其中一个转360°但不互换，是一样的。费曼希望梅旻能有更简单的方法，解释基本粒子这种古怪的旋转特性。

梅旻致费曼|**1984**年**4**月**11**日

亲爱的费曼博士：

谢谢你来信提到我所做出来的一些通俗化尝试。其实我自己也很喜欢那篇论文。我已经明白，物理学家有两类：有一类是能够欣赏物理，另一类则完全无法掌握这一点。我一直认为你是属于第一类的物理学家，现在更是完全确定了……对于两个基本粒子的互相交换，等于其中一个转360°这件事，我还想不出有什么简单的方式可以说明为什么会这样。我甚至也找不到一种可以令自己满意的复杂说明。如果你有任何进

展，请寄一份复印件给我。

再一次谢谢你这么亲切的来信。你通过你的作品，对我的物理思考和写作的尝试，其影响比任何人的都要深。我很高兴自己至少还有一点点机会，可以回报你。

诚挚的祝福

梅旻

费曼致布莱德雷（**William G.Bradley**）**|1984**年**7**月**13**日

布莱德雷博士是杭延顿医学研究中心磁共振（MIR）造影实验室主任。

亲爱的布莱德雷博士：

谢谢你寄给我有关我脑部的MIR照片。这个仪器拍摄出来的照片，细致程度和影像解析度都是非常惊人的。

但是你看不到我在想什么。而显然，我的头脑还有一些功能上的损伤。因为我记得拍摄时间是6月25日19点33分24秒，但你的机器却显示，摄影时间是6月6日19点33分18秒。6秒钟的差别我倒是不在乎，因为发生意外之前，我对时间的误差已经有10秒钟左右，我想这大概是上了年纪的关系。但是差了19天，就表示我脑部的功能有严重的损伤，可能是这次的脑膜下血肿造成的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致鲁勒提（**Eric W.Leuliette**）**|1984**年**9**月**24**日

鲁勒提是高中生，16岁，想知道该怎么准备上大学，将来以研究物理为职业。

亲爱的鲁勒提：

有很多事情，我所知有限。其中一件就是要怎么准备，才能成为理论物理学家。我猜最好的方法，应该是全心全意投入你最喜欢、最感兴趣的事情。如果到最后，它不是带着你成为理论物理学家，而是成为律师或电机工程师，那也很好呀！尽管朝那方面发展就是了。如果你在年轻的时候，就找到一件你很喜欢做的事，而这件事又足够大，足够你一辈子去玩，那就太美妙了。因为不管那是什么事，如果你真的很高明，如果你真的热爱它。一定会玩出名堂的。人家就会付钱，请你继续玩下去。

至于上大学的财务问题，我们会请相关的人员把有用的资料寄给你参考。

诚挚的祝福

理查德·费曼

附笔：设法把我的《费曼物理学讲义》借出图书馆去瞧瞧。你应该会喜欢当中的某一部分：如果没有任何喜欢的部分，这三大册书也会帮助你决定，以后究竟想做什么。

加州大学尔湾分校波特（**Frank Potter**）致费曼|**1984**年**11**月**15**日

费曼教授：

我要诚心诚意地感谢你，影响了我的一生和我的生涯规划。你或许记不清楚了。但是1965～1967年间，你每星期和温斯坦（Bruce

Winstein）到休斯研究实验室，有个加州理工学院大学部的学生固定搭你的便车，那个学生就是我。当时你正在讲授基本物理，而温斯坦好像是讲授天体物理。在大约两小时车程的途中，你常讲些物理界的轶事或物理基本概念，很像是个小型的“试教”一样。

你演示了怎么提出物理问题，然后如何直指问题核心。整个过程既有趣又刺激。这种言传身教终于影响了我，改变了我的人生目标。本来我在大学部是念电机工程的，后来我在1973年得到的是物理博士学位。我发现你散发出来的精神，一直持续影响着我。我在加州大学尔湾分校的物理讲座，也是跟你学的。

在车厢里的谈话，有一段我记得特别清楚，因为这段话影响了我一生思考问题的方式。我一直努力实践这段讨论所涉及的观念。那时，温斯坦问你：“如果在你的生涯中，可以重新来过，做些不同的事，你会做什么？”你毫不迟疑地回答：“我会设法忘掉我是怎么解决问题的。然后，每当问题产生的时候，我可能会用不同的方法去处理它。我不愿意想到我以前是怎么解决问题的。”

我必须诚实向你报告，我非常努力地朝这个目标迈进。至少，在思考物理问题的时候，是这么做的。起初，当研究生的时候，用这种态度来处理问题是很沉重的负担，因为我经常必须从很基本的地方重新出发。经过几年的练习之后，我开始领略到每当面对一个问题的时候，那种新鲜感是多么美妙啊。它甚至让我能在传统物理问题和崭新观念之间，转来转去，悠游自在。从你这样的一种态度，我得到这么大的乐趣，你真是我这一生中最重要的贵人，惠我良多，我实在感激不尽。

在我的生涯里，对物理可能没有很大的贡献，但我并不特别在意这一点。我已经发现了大自然的魅力和挑战性，而且我拥有一些从你身上学到的精神。我也有个幸福美满的家庭，而且我有自己向往的自由，可以思考任何事情。

我希望你接到很多像这样的道谢信。对你来说，这真的是应得的，当之无愧。你的一举一动、一言一行，对很多人都有重大的影响。你已经给了我们不凡的导引，你的精神风范正逐渐散播到更多角落，我相信一定会永远流传下去。

满怀感恩之心的

法兰克·波特

费曼致波特博士|**1984**年**11**月**21**日

亲爱的法兰克：

你这好小子，法兰克，可真会写信。

我当然记得你，还有温斯坦（另一个是施利赫特），一起到休斯实验室去的事。只是我记不得那一段特别的谈话了，就是你提到的忘掉所有答案的事。不过我完全同意这种想法。你的来信很令我惊讶。当我发现，有很多人采取和我不同的方式来处理事情时，我常常会感到惊讶。我对于用不同的想法来重新思考事情，觉得有很大的乐趣。很高兴知道这种喜新厌旧的思考方式也传染给你，还让你乐此不疲。

当然，我一再展读你的来信。给人这样捧上天，感觉还真是棒得不得了。

谢谢你了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

第11部　最后一幕|1985～1987年

死亡太无聊了，我可不愿死两次。

历史告诉我们，仅有的一个完人，已给钉在十字架上了。

1985年1月，一本收集了很多费曼故事的书出版了，就是《别逗了，费曼先生》。这本书出乎我父亲和出版社的意料之外，居然非常成功，连续14周都在《纽约时报》的畅销书排行榜上。同一年，另一本他的量子电动力学著作也出版，书名是《QED：光和物质的奇妙理论》。在书里，费曼煞费苦心地详细为外行人解释量子理论，只用了很少的数学。如果你想知道他为什么会得到诺贝尔奖，那么这本书就是为你所写的。

1986年，在美国航空与航天管理局代理局长格拉姆（William Graham）的力邀下，费曼勉为其难地加入总统调查委员会，调查航天飞机“挑战者号”的真正失事原因。格拉姆曾是费曼“物理X讲座”的学生。费曼已在另一本书《你干吗在乎别人怎么想》里，把这段过程详详细细地说了一遍。在公开听证会的关键时刻，费曼把固体燃料助推火箭上使用的一个O形橡皮环，浸在一杯冰水里，将发生事故的技术性原因，清楚地为观众示范一遍，使大家一看就明白。

之后不到两年，费曼就过世了，时间是1988年2月15日。主要的死因是肾衰竭引起的昏迷。当时他身旁有三位女性：太太温妮丝、妹妹琼恩和表妹法兰西丝。费曼最终说的话是：“死亡太无聊了，我可不愿死两次。”

费曼致施韦伯（**Silvan Schweber**）|**1985**年**1**月**28**日

施韦伯写了一本书《1938至1950年间的量子场论》，其中有一章是《费曼与时空过程的视觉化》。他把草稿寄来给费曼看，他认为费曼一定会觉得这篇东西很枯燥，但他也希望费曼或许会发现里面有些新鲜的东西。施韦伯盼望费曼尽量提供意见和指正。

亲爱的施韦伯：

首先，抱歉我拖了这么久。因为我们这里出了一点意外，我所有关于你的东西都掉了。你的原稿和我写在上面的注记，都不见了。因此，我只好重新来过。

其次，我并不觉得这篇东西枯燥。相反的，我觉得它很有趣。而且有很多东西，我以为再也见不到了，居然又看到了，令我很惊讶！例如那页有关复数的打字稿，我记得是在我那台玩具似的简陋打字机上打出来的，我没料到那页东西居然还在。另外，我也不知道自己居然写了这么多的信。回顾自己以前是怎么想的，确实是很有趣的事，你们这些搞历史的就是有这种本事，可以把过去重建，弄得看起来好像真的一样。

下面我提一些意见，可能可以当作修正的参考。但这只是就我记忆所及，不一定是“事实”。另外还有些打字错误，我就不管了。

第4页的最后一段。我进入麻省理工学院的时候，是数学系的学生（课程代号18）。不久之后，我跑去问当时的数学系主任富兰克林：“除了可以用来教更高等的数学之外，高等数学还有什么用处？”他的回答是：“如果你一定要弄清楚这个问题，那你显然不适合读数学。”于是我转到电机工程系（课程代号6），去念些比较实际的东西。但很快又回到以理论为主的物理系（课程代号8），之后就一直留在物理系了。

第9页中段。（评论）我不知道他们想用3年代替4年，幸好他们没有这么做。

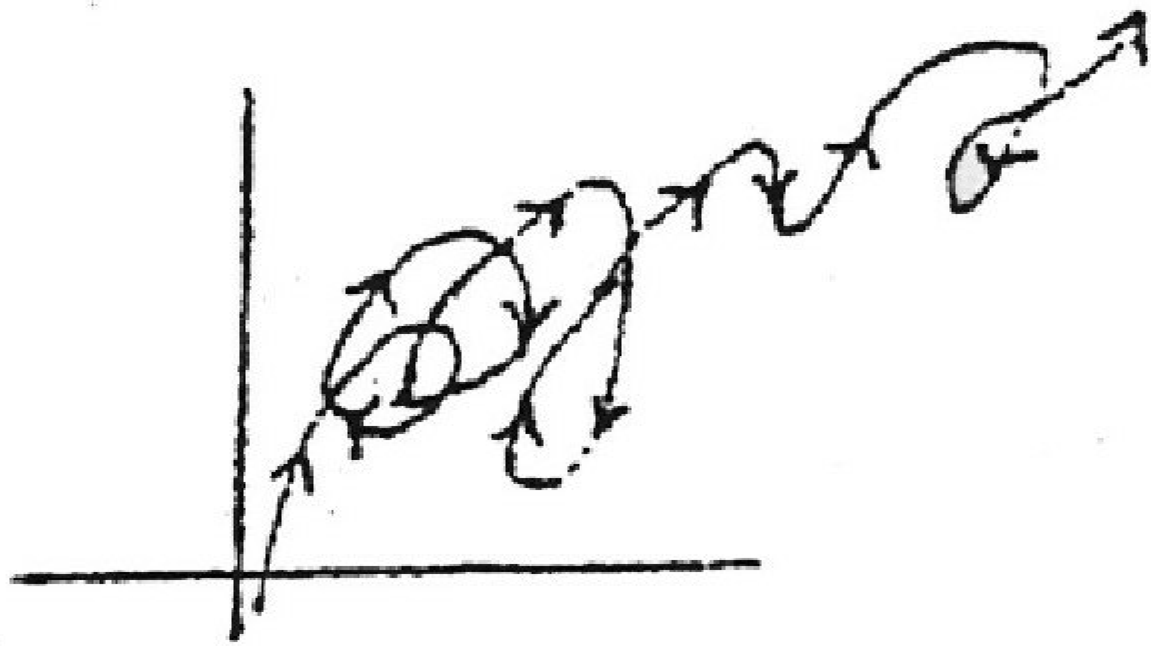
第9页最上面那段。我得到哈佛大学的奖学金，是因为赢得一项全国性的数学大赛。虽然我是物理系的学生，但数学系来邀我共同组队。因为一队需要4个人，他们人数不足。他们查了过去的记录，发现我念

过数学系。我并没有把握，但他们给我过去的考题让我练习，我就披挂上阵了。

第14页第2段。在“其他人”当中有冯·诺伊曼（John von Neuman，1903～1957，原籍匈牙利的美国大数学家，计算机理论创建人）。

第17页第3段。应该读成“在这个新版本里，他们采取……”

第24页最后一段。（评论）我对这件事的兴趣是这样来的：高中的时候，我有个非常能干的同学，叫哈里斯。毕业后，我进了麻省理工学院，他进了伦斯勒技术学院，成为电机工程师。有一年暑假（大约是大一升大二时吧？）他回到法罗克维来，我们一块儿散步。他谈到当时很新颖的反馈式放大器，他想用不同的方式来设计这种放大器，以避免振荡。他认为大自然一定有某种定律，不可能让一个电路的阻抗迅速消失，又没有严重的相移。我认为那也许只是频率响应区的一种信号反射，因为不可能没有信号进来，却有信号放大出去。但当时我们都太嫩了，显然无法处理这个问题所牵涉的复杂数学细节。因此，你会发现4年之后我偶然发现博德的论文时，为什么会那么开心了。



第23页。我发现课本的图1并没有列出参考文献。这个图（如果我没记错它的出处的话）应该更像这样，或者其他更复杂的结。

第25页第12行。我完成博士论文之前，就参加了威尔森的军事研究工作，写论文的事就停了下来，过了一段时间后，我要求暂时放下工作，离开几星期，去把和我论文有关的想法处理一下，免得我忘了。但是在做这件事的时候，我发现了一个以前卡住我的错误。因此，惠勒教授建议我立刻把论文写好，赶快把博士学位先弄到手。

（评论）这一页上有很多公式。我通常不需要再去检查这些公式，对不对？

第32页第6行。我不知道怎样用传统方法，来计算狄拉克理论与空穴的自能（self-energy），因为我从来没有仔细研究过。而我的路径积分法当时也还没有完全搞成功，还不能用于狄拉克理论的电子上。但是我当时却知道一个简单的方法，可以表示电子之间的相互作用。我设法把这个方法改良成一种规则（见第65页的图60），可以对频率积分或对

不同质量的光子做积分。因此，第二天我回去请贝特教授设法用传统方法把结果计算出来。贝特对传统方法非常在行，所以，计算是贝特做的，并不是我。

第40页顶端。你从阿格·玻尔那儿收集到这些资料，真是太好了。我只是从我的角度去看这件事，只能猜测他和他父亲之间，可能出了什么事。但没有办法证实。

第66页第16行。“除了一些很好的简化方式之外”可能是错的。次行则可能是“另外一些没那么尖锐的东西”。

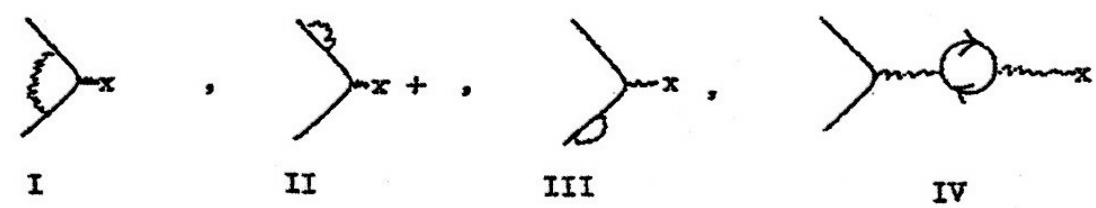
第70页的最上面那段。犯下这项错误的故事很有趣。就我所记得的，可能是这样：首先，我得到一个相对论性的结果。但是有位学生发现，在推进过程的前面某一行有个错误，因此它一定不会是不变量。但在几页之后，他又发现另一处错误，使得两个同样复杂的项互相抵消掉了。负负得正，我居然得到正确的结果。这种两个错误正好互相抵消的神奇事件，可能是因为我对结果有一种很强烈的感觉，认为算出来的结果应该是相对论性的。

第71页第2段。可能我记得的，只是我心底盼望发生的事情。但我怀疑这段有关艾吉斯的故事可能从未发生过。你能不能向贝特查证一下？施温格和我互相比较笔记与结果，我们是很要好的朋友。我们当面讨论过这件事，后来还通过电话互相联系，比较结果。我们并不了解对方所用的方法，但彼此相信对方所做的事一定是有意义的。甚至在别人还不相信我们的时候，就已经有这种互信基础了。我们互相比较最后的结果，而且以自己的方法大略指出对方的结果有没有意义，或者可能是哪里出错。我们很多地方都互相协助。很多人开玩笑说我们是互相竞争的对手，但我从来不觉得有这种情绪或态势。从第70页的最后一段，大家应该能够知道我的想法。我觉得一个老问题就快要由我或施温格给解决了，心里非常兴奋。听起来不像有什么硝烟味。

第76页第14行。“轰炸员”的隐喻是我在康奈尔大学的时候，某个学生想出来的（他在第二次世界大战期间，真的是轰炸机上的投弹手），是形容我写好了论文，到处投石问路，骚扰人，想征求别人的意见。这种比喻不算好，但好像也没别的形容词了。

第76页。为什么“幻想”这个词会打错？我们能信赖听写员吗？可能我的发音很糟糕，常念错音。

第87页。事实上我有印象，好像阿格·玻尔也表示过意见。施温格的结果更完整。因为他做了电荷的重正化。而我当时还没有把真空极化的问题处理到满意，就是你知道的那4个圆（见次页）。



我们（施温格和我）后来发现，我做出了Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ（不含电荷的重正化），而他做出了Ⅰ，没做 Ⅱ和 Ⅲ，但有电荷的重正化，而我弄混了，以为这种电荷重正化就是真空极化的 Ⅳ。我们两人碰面的时候，我还没有做出 Ⅳ来，我以为他做出来了，我现在仍然不知道，当时他是不是已经做出Ⅳ的满意结果，或者还没有。

第100页的第4段。我在结尾的说法很差，原来的文字是：“这是我得到诺贝尔奖的时刻。”其实，我的意思并不是说，在这时候，我对自己会得诺贝尔奖已经心中有数。老实说，我从来就没有想过得诺贝尔奖这件事，我真正的意思是，在这一刻，我有一种“中了大奖”的兴奋和喜悦，因为我发现自己在某方面做得不错，有些贡献。

第106页。这里有必要放入这种宗教式的观点吗？一般人对这种宗

教性的看法，经常是很敏感的。因此我这一生在处理类似的言论时，总是非常和缓，小心翼翼的。小引号里的文字就更加震撼了。（好吧，我猜对你的读者也许没有那么震撼！）

第107页。瓦德（Morgan Ward）教授曾对我指出，同样的说法曾指出下面这个方程式$x^{7}+y^{13}=z^{11}$（其中x与y的乘方互为素数），不可能有整数解，但结果它们居然有，而且还是无限多组解。

第111页最后一段。我举个例子来说。当一位历史学家在描写后代子孙的时候，却告诉我们，后代子孙会怎么想我们，这是不恰当的。他可以把现在的情况做一番界定，然后推论后代子孙可能会有的意见，但不可以直接就把意见表述出来。所有的注记，你都在底下详细列出参考文献。但你这段描述的参考文献在哪里？

我所有量子电动力学的知识，几乎全部来自费米1933年写的一篇简单论文，刊登在《现代物理评论》上。

诚挚的祝福

理查德·费曼

●中文版注：

费米（Enrico　Fermi，1901～1954），原籍意大利的美国物理学家，1938年诺贝尔物理学奖得主。他是1942年12月在芝加哥大学进行的、世界上第一次受控核反应实验的负责人。

费曼致韩福特（**Bernard Hanft**）|**1985**年**2**月**4**日

纽约的韩福特先生寄了一个绑着线的垫圈来，示范一种他发现的新的物理力，他称为“韩福特力”。这种韩福特力的作用方式如下，他写

道："它会让悬吊的任何物体，不论任何材质或结构，对着自己的轴旋转。"韩福特先生觉得，既然这个旋转不需要任何能量，应该可以发展成一种源源不绝的动力。

亲爱的韩福特先生：

谢谢你的来信，里面提到旋转力和圆周力，以及示范这些力的垫圈和线。

这种旋转力是很有趣的现象，而且乍看之下，还会令人觉得不解。但是我做了一些实验之后，已经知道它的作用原理。虽然它看起来似乎违反能量守恒定律，但其实并没有。我认为是线里的纤维有一种自然扭转的倾向，好达到较低的能量状态（假设这是线在制造过程中形成的）。简单地说，我是指当线没有给拉长的时候，它其实是处在扭曲的状态：而当你把线拉长时，例如挂上垫圈，垫圈是有重量的，线就变得比较扭曲，因为它伸长了。这力是来自线给扭开拉长的力。

因为，当你把垫圈线挂起来之后，它会开始旋转。旋转所需要的能量来自把线拉长些，使它比较少扭曲。而拉长线的，是悬吊物的重量（在这个例子里就是垫圈），是悬吊物提供了旋转的能量。

为了证实我的预测，也就是细线让垫圈给拉长，我把垫圈先固定住，量它顶端的位置，做个记号，然后再让它自由旋转。果然在它旋转最厉害的时候，位置最低，但只低了2毫米。起初我还有些怀疑，因为垫圈转得这么厉害，不像是这么小的距离所释放的能量可以应付的。但在简短的计算之后，就会知道我的直觉是错的。低2毫米所释放出来的能量如果完全转变成动能，可以让圆盘状的物体每秒转3圈。（不过我认为垫圈不可能转得那么快，因为在线内的摩擦和空气阻力，都会消耗一些能量。）

当线完全伸展的时候，由重量产生的张力就不再起作用了。这时候，线本身又可以自由地转回它那稍微带点扭曲、稍短些的原来结构。因此，整个现象可以一再重复。

圆周力的效应就比较没那么有意思了，因为大家对它比较熟悉。有个利用手环的办公室游戏，就是这个把戏。用一条细线把一个手环绑住，然后垂下来，叫一个女孩用手握在线的上端。然后你问这个女孩子问题，看看手环是以顺时针或逆时针转动，就知道她的答案为“是”或“否”，而她不必说出来。其实手环的转动是来自手的轻微运动，而这种运动是很轻微、不自觉的下意识行为。你试着握住线，然后把手靠在固定的桌面或把手上（连手指都要注意，让它不能移动），试试看，就知道了。

再度谢谢你，让我注意到这些有娱乐效果的现象。

诚挚的祝福

理查德·费曼

寇特斯（**Robert F.Coutts**）致费曼|**1985**年**4**月

费曼博士：

我获提名角逐“科学与数学杰出教学”的总统奖，但是这个奖需要好几份推荐信。我很冒昧地想让你为我写一封推荐信，我会非常感激你的帮忙。或许你可以提一提这么多年来，你到范诺伊斯高中来和我一起分享物理教学乐趣的事。我知道为人写推荐信是一件很痛苦的事，我实在不应该开口。但我很期待争取这项名声与荣耀，为学校增光，以吸引到好学生。谢谢你的大力帮忙。

另外有个口信请带给你的可爱的秘书小姐。总统奖的收件截止日期

是4月19日。

我的学生和我都期待你24日的来访。

感激你的

寇特斯

费曼致加州教育厅科学委员会主席甄女士（**Melinda Jan**）**|1985**年**4**月**16**日

亲爱的甄女士：

我很高兴听说寇特斯获提名角逐“科学与数学杰出教学”的总统奖。我此生有许多小乐趣，其中之一就是每年一到两次到范诺伊斯高中为寇特斯班上的学生回答物理问题。这项活动是寇特斯在好几年前创办的，我每年都参加。学生提出的问题五花八门，什么都有，像相对论、黑洞、云、旋转陀螺、磁力，等等，所有你想得到的问题都有。这个课程是活的，而且非常有趣。全班的学生似乎和我一样，都非常喜欢这个节目。他们也非常活泼，非常喜欢问。我一直认为。这是寇特斯先生喜爱科学与教育的结果。他在课堂开始的几分钟前，总是很热切地想把他新设计的实验或装置，或原创的新想法告诉我。

如果你选了他，一定会为自己的选择自豪的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

德碧·费曼（**Debbie Feynman**）致费曼**|1985**年**1**月**20**日

亲爱的费曼博士：

我在这个时候写信给你，有好几个理由，在这里会提到。你看下去就会明白。

首先，我要解释一下。我们两家的姓氏相同，因此可能有某种亲戚关系。我父亲名字是伯特，祖父叫法兰克，他在1966年去世。我的曾祖父叫哈利，曾祖母是莎拉。我相信（如果有错的话，请告诉我）你是我曾祖父兄弟的子孙。我们是七亲等的族叔侄关系。我父亲伯特可能是你五亲等的堂兄弟。

我叫德碧，在4月就满17岁了。现在是森林山丘高中二年级的学生。我读的是所谓“数学与科学优等生课程”。我的自然科学老师过去常常会问，我和你是不是有亲戚关系。我当然说有，毕竟姓费曼的人很少，而且你是非常有声望的科学家，在科学界大名鼎鼎。去年年底，我还在第13电视频道看过你，那是个1小时长的访问节目。

我母亲叫奥代丽，今年夏天，她和我爸要带我去做一次告别青少年的旅行，我们也准备到加州去。我还不知道在加州会离你们多远。如果可能的话，希望能和你碰上一面，将使这趟旅行格外有意义。当然，我父母也会觉得很自豪。

因为这是我们第一次通信，很难把事情完全敲定，我也不知道你们家的情况，不知道该怎么问候大家。

我爸妈知道我写信给你，都很高兴。你若想到什么事，请不要客气，随时可能问我。

我很兴奋地期待你的回信，并且祝福你们一家人。

诚挚的祝福

德碧·费曼

费曼致族侄女德碧|**1985**年**5**月**7**日

嗨！德碧：

看到有人签着我的姓，而这个人又不是我太太、孩子或姐妹，实在是一件有趣的事。当然，因为这正巧也是你的姓。这算是个很少有的姓氏，因为我们无疑有某种远房亲戚关系。没有人会毫无目的，创造两次相同的怪姓。

但是我们的亲戚关系有多近，就需要一些调查工作了。就我所知，我父亲是梅尔维尔，我有个叔叔叫亚瑟，很年轻就早亡，没有留下子裔。我有两位姑姑，结婚之后都改从夫姓。我的祖母叫安娜，一直住在纽约的布鲁克林。她先生，也就是我祖父，叫杰可布。他们的婚姻出了问题，因此杰可布跑到加州去，重新再娶（有些姓费曼的人，住在加州的长滩）。

据我和我妹妹所知，杰可布原来的姓是波拉克（Pollock），但他从俄国的明斯克移民来美国后，就把太太的姓氏稍加改动了一下，当成自己新的姓，即费曼。杰可布后来把他两个弟弟也弄到美国来。他们到美国之后，也都改姓费曼。这就是我所知道的整个故事了。我们不知道杰可布的那两个兄弟叫什么名字。会不会是哈利？如果是的话，我就是你曾祖父兄弟的孙子。我的女儿米歇尔今年16岁。这表示她和你的高祖父是同一个人。

不管怎么样，我们一定有某种亲戚关系不会错。如果不能证明，就当它是好了，反正亲戚不嫌多，这样也比较有趣。

因此，当你们旅行到加州来的时候，大家一起见个面。你们决定好什么时候来之后，请打电话通知我们，电话号码如下……

你的（可能）亲戚

理查德·费曼

附笔：最近诺顿（Norton）公司出版了一本书，叫作《别逗了，费曼先生》，我们家人的名字都在书上。

※米歇尔注：可惜没联系好，德碧小姐一家人到加州来的时候，我们正好出门，错过见面的机会。

费曼致伯明翰精神病学与医学中心卡姆（**Robert L.Kamm**）|**1985**年**7**月**19**日

卡姆和费曼同一天进普林斯顿，战争期间也和他一起在洛斯阿拉莫斯工作。他写信来，提道："我们一起在普林斯顿的餐厅吃饭。在艾森赫夫人办的茶会上，她拿牛奶和柠檬给你加茶时，我也在场。"读了《别逗了，费曼先生！》之后，他才想起该为太太珍，向费曼兴师问罪。当时洛斯阿拉莫斯的主管常因为门或保险箱没锁好，而责备女秘书珍。卡姆认为费曼欠他太太一个正式的道歉。

亲爱的卡姆：

谢谢你的来信。很高兴听到你的消息，我也重温了你的回忆。但我认为你的疑惑恐怕还没有解决。因为我开锁之后，从来不会让门或保险箱是打开的。我的作风是打开保险箱，放一张字条进去，告诉它的主人，说它不够安全，再好好关上。我对保险箱里的东西，都有高度的敬意，不会让别人有偷走的机会。我的恶作剧只是要大家提高警觉，注意安全问题。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致贾福夫人（**Mrs.Harry Garver**）**|1985**年**9**月**3**日

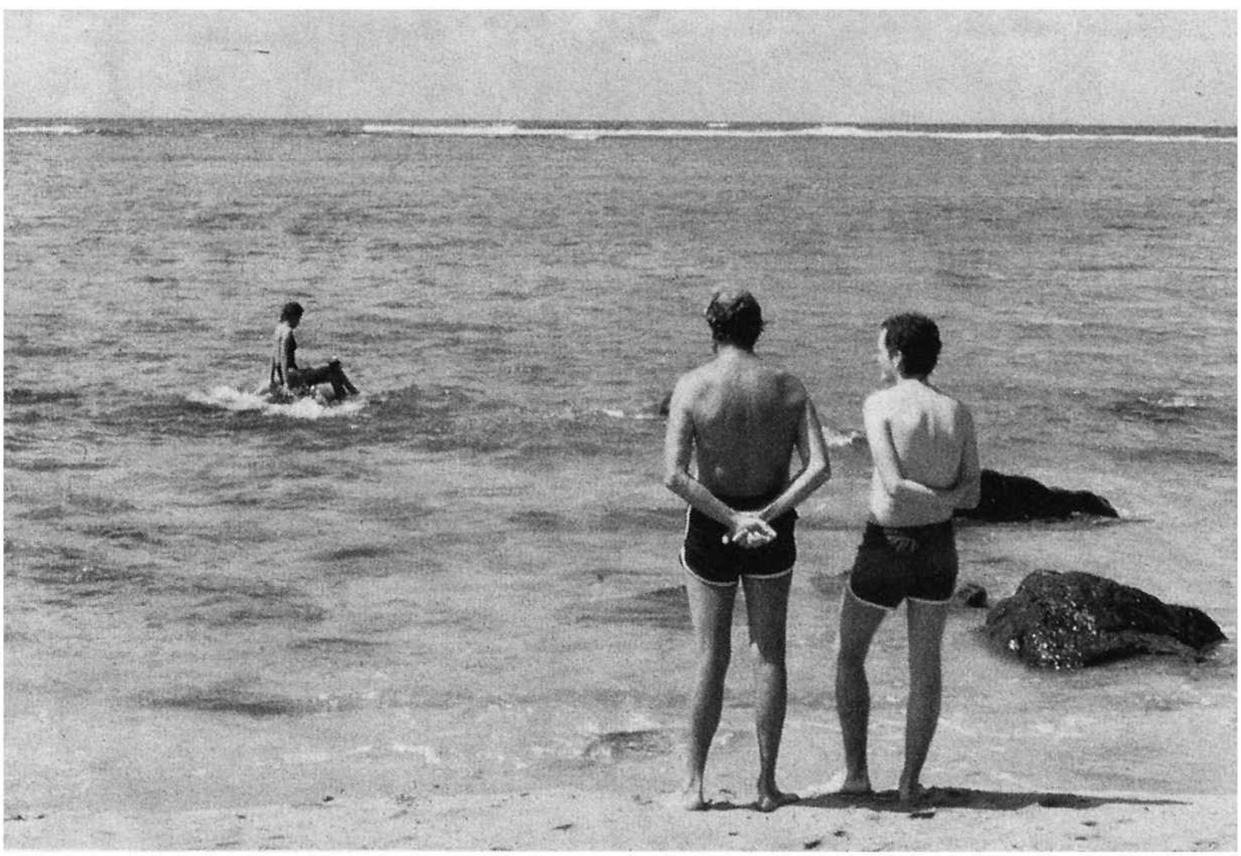
贾福夫人贝蒂是费曼的另一位长期秘书。当我父亲回她这封信时，我只是个高二的学生。

亲爱的贝蒂：

谢谢你的来信，很高兴听到你的消息。我已经头发半白了，但还没有当祖父。我得子也晚，不知道何时才能含饴弄孙呢。

诚挚的祝福

理查德·费曼



费曼与卡尔父子俩在海边讨论事情，摄于1985年



费曼与温妮丝的银婚（25周年）纪念照，摄于1985年

费曼致柏耐丝·薛恩史丁（**Bernice Schornstein**）**|1985**年**9**月**5**日

柏耐丝的女儿宝丽写信给费曼，提起多年前母亲辈和费曼的陈年往事，“好像是某个聚会之后，你和她以及佛罗伦丝走路回家。三人手牵手，走在大街中央，还高声唱歌。我妈认为，虽然有当年的相片，但你可能已经不记得她了。可是我认为，怎么会有人能忘了她呢？”柏耐丝自己也写信来，为侄儿向费曼要签名照片。

亲爱的柏耐丝：

从来信当中那么有限的蛛丝马迹，我当然记不得你是谁。还好你女儿写信来，另外给了我一些线索，我终于想起两位美丽的迷人精，先后上楼，“找更舒服的地方”。而我却被另一些人缠住，在楼下无法脱身，我们真的享受了一段美好的时光——你、我和你表妹佛罗伦丝。

看起来，我当年非常欣赏的那种乐观与幽默的个性，又在你女儿身上重现。她很细心地提醒我，不必怕接到你的信，因为她知道应该叫谁“爸爸”。显然他们知道我们关系非比寻常，还比我们承认的深厚。时代已经不同了，或许我们应该晚一点出生。

当然，我很乐意送一本签了名的书给你表妹的儿子。很高兴这段美好的记忆再度有人提起。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致柯施兰（**Daniel E.Koshland, JR.**）**|1985**年**9**月**3**日

《科学》期刊的柯施兰博士向费曼请教，问他对新理论“弦论”的看法。

亲爱的柯施兰博士：

请原谅我迟至今日，才回你6月17日的来信。我6月1日就离开办公室，因此没有看到你的信。你问我对“弦论”的看法，我只能说，我不相信它。但是我并没有好好研究过弦论，因此也说不出为什么不相信。这种个人的偏见应该不是报道的好题材。

诚挚的祝福

理查德·费曼

史戴德（**Klaus Stadler**）博士致费曼|**1985**年**10**月**4**日

亲爱的费曼教授：

首先容我做个自我介绍。我是你的书《别逗了，费曼先生》德文版的责任编辑。我们派普（Piper）出版公司很荣幸能得到这本书的德文版授权。你慕尼黑的同事，傅雷茨（Harald Fritzsch）教授多次参加了这本书出版事务的讨论。如果你同意的话，我会邀请傅雷茨教授为德文版的书写篇序言。

傅雷茨教授还建议我们，把这本书做一点删减。他认为其中有些部分对德国读者而言，不太重要。我希望他在几天之内，给我一份建议删减的清单。当然，我会尽快把傅雷茨的建议和清单寄给你。

最近，我们得到你的新书《量子电动力学》将由普林斯顿出版社发行的消息。我在法兰克福书展期间，会和普林斯顿大学出版社接触，希望得到这本书的德文版权。

你有没有其他的出书计划，适合列入我们科学书籍的选题？我对你的任何书都有兴趣。

这封信的最后一个问题是，德文版的《别逗了，费曼先生》出版的时候，你有没有机会到德国来巡回演讲？包括到大学或普朗克研究院演讲？我们打算在1986年秋天出书。

我期待你的回信。

致上最高的敬意

史戴德

费曼致史戴德|**1985**年**10**月**15**日

亲爱的史戴德博士：

你的来信谈到我的书《别逗了，费曼先生！》，并且建议做一些删减，说对德国读者可能不重要。

由这项建议，可以看出你们对我这本书的特质完全误会了。在这本书里，可以说没有任何东西对德国读者是重要的。对其他国家的任何读者也一样。它既不是一本科学书，也不是一本严肃的书，甚至不是一本传记。它只是一些简短、互不相干的逸事。我们希望带给一般读者某些乐趣，不应该装模作样，说它有多重要。这一点请你在做广告和宣传的时候，特别说明白，否则会让不知情的读者大为失望的。（这本书在美国广获好评。对他有意见的人都是因为过度期待而失望。）

如果你们把这本书当成一般读物来处理，不当成很正式的科学书，我会比较喜欢。至于翻译，应该找一个很有幽默感的人，可以体会这本书散发出来的趣味，而不要过度强调它的重要性或硬度，那就更符合这本书的特质了。因为它的确不是那种很重要的硬书。当然，如果做些删减，这本书的效果或许会加强，但删减的理由并不是它们不重要，否则整本书都会删掉。

你提到的新书《量子电动力学》，则是完全不同的另一回事。那是为程度很高的外行人和非常喜欢近代物理的年轻人所写的，很严肃的科学书。很高兴你对这本书也有兴趣。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致田纳（**Edward Tenner**）**|1985**年**11**月**14**日

1985年3月21日，普林斯顿大学出版社寄了一封信给费曼的秘书海伦，谈到为新书《量子电动力学》宣传的事。信里保证不在宣传品上提费曼得诺贝尔奖的事，而且把提到“传奇般的幽默”那部分也去掉了。但是在出版之前，还有许多事需要处理。

亲爱的田纳先生：

毛特纳博士已经把我《量子电动力学》的封面给我过目了。果然又漂亮又端庄，我非常开心。所有看过的人都称赞这个封面很有品位。[但我还是要老实说，当他们打开封面的勒口，发现有另外一本新书的广告时，觉得很惊讶，他们认为有点美中不足。这点我不知道，我不了解一般的做法是什么。我只知道皮尔斯（Rudy Peierls）那本书很不错，我相当喜欢。但是我并不希望在别人的书的封面勒口里，广告我的新书。]

很高兴这本书即将上市。我非常好奇一般人接受的程度会是怎样，读者能不能理解？我很难说结果会是如何。谢谢你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：田纳先生回信，盛赞新书的封面设计人阿杰钦格（Mark Argetsinger）。他也保证，皮尔斯的新书《候鸟》的介绍，在以后再版的时候会拿掉。而且他会让出版部门的人知道，费曼不喜欢别人的书上出现自己著作的广告文字。

费曼致印第安纳州圣母大学物理系库欣（**James T.Cushing**）|**1985**年**10**月**21**日

库欣教授寄了一份论文的草稿来，谈到海森伯的S矩阵计划。

亲爱的库欣教授：

我读了你所写的，有关海森伯S矩阵的回顾论文，觉得很有趣。但我没有什么意见和评论。我一直认为海森伯的这项研究，是很多后续研究工作的起点。

另外，我总觉得你在最后一句里提出来的问题怪怪的。就我看来，这个问题的答案似乎是在暗示：如果海森伯没有做出这个东西来，其他人也很快会研究出来，因为它非常有用，也非常必要。

其实倒不见得，我们并没有那么聪明。譬如爱因斯坦的广义相对论。当然也有人说，德国数学家希尔伯特（David Hilbert，1862～1943）也已经独自上路了。我对这段历史不太清楚。你认为如果爱因斯坦没有提出相对论，需要过多久才会有另外的人提出来？

诚挚的祝福

理查德·费曼

沃富仁致费曼|**1985**年**9**月**26**日

20世纪80年代早期，沃富仁的兴趣已经从基本物理的传统领域，转

向新兴的复杂（complexity）科学领域。但是有些科学家和科学行政主管人员很怀疑这个新的方向。

亲爱的费曼：

首先，非常感谢你寄来的有关密码系统的信。我已经戒掉随时想学新东西的瘾头了，但这一次又重犯老毛病。我会试试看你提的方法，看它能发展到什么程度，并对它做系统性的了解。特别是看看，能不能在多项式时间里抓出它的核心来。但我必须说，我非常相信这个系统一定非常难以破解。我认为这个系统的破解，一定很像在解NP完备问题。我解出来之后，一定会告诉你。

我随信寄一些刚写好的东西给你。它和科学本身无关（其实科学是我最爱写的东西），倒是有点像关于科学组织的问题。我在普林斯顿高等研究院的处境愈来愈辛苦，已经到了应该准备离开的时候了。而且我找不到一个比较好的地方，可以支持我继续研究我现在感兴趣的东西。因此，我正在考虑是不是成立一个新的研究单位，建立适合自己的研究环境。如果现在就有这种机构，情况会好得多，可惜并没有。现在有几个和复杂科学有关的计划正在进行，但我觉得它们似乎是漫无头绪。你或许会觉得处理这类行政工作真是浪费时间，我也不确定自己是不是同意这个看法。但我觉得自己没什么选择余地。既然非做不可，我就尽全力把它做好。如果你对这件事有任何看法或建议，我将感激不尽。

深深祝福你

沃富仁

费曼致沃富仁|**1985**年**10**月**14**日

亲爱的沃富仁：

1.我不认为目前的科学组织架构不利于“复杂科学研究”的发展。因此，我不觉得有必要成立新的研究机构。

2.你说你要建立自己的研究环境，但你其实是办不到的。你或许能建立起一个你很喜欢在里面工作的环境，但你实际做的事，却是这个环境的行政与管理，你并不在研究环境里面，而是在它的外面。这种行政管理的环境应该不是你想追求的，是吗？你不会喜欢行政人员的，因为你和他们格格不入。

你并不懂“一般人”，对你来说，他们是一些“傻家伙”。因此，你会受不了他们，或者说无法很有耐心去包容他们的缺点。如果你想要有效率地和他们打交道，可能你会把自己逼疯（或者让他们给逼疯）。

找个方法做你的研究，尽可能不要和非技术人员接触，除了疯狂陷入爱河之外。这就是我给你的忠告，老友。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：沃富仁并没有听从费曼的忠告。他不但设立了一个研究机构，还成立了一家“沃富仁研究”公司，销售广受应用的Mathematica“数学精”软件。和费曼预测的相反，沃富仁干了好几年成功的公司执行长，而且恣意追求各种新科学。他还在2002年出版了一本巨著《一种新科学》。他在1990年初已经坠入爱河，很愉快地结了婚。

纽曼（**Thomas H.Newman**）致费曼|**1985**年**11**月**11**日

1985年秋天，斯坦福大学电机教授皮斯（R.Fabian Pease）与研究生纽曼联名写信给费曼，说他们准备好要赢取费曼在1959年的演讲“这

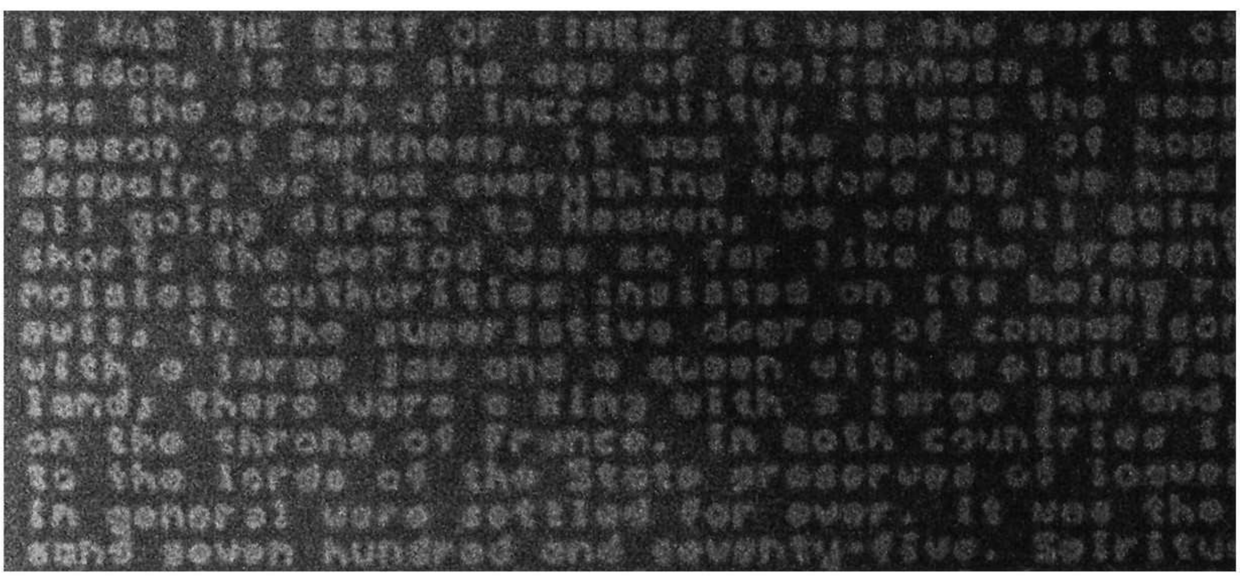
下面空间还大得很呢！”所悬赏的第一项挑战。在下面的信及所附的资料里，他们提出了自己的成果。

费曼教授：

随信附给你的照片，是我们用穿透式电子显微镜（TEM）技术将教科书整页依比例缩小2.5万倍的图像。现在，你应该已经核对过原始文件了。如果还没有，我们可以提供缩小倍数的证明方法与原始文件。我们这种TEM技术，可以校准到误差只有10%。你可以拿同等放大倍率的TEM标准校准图片，和TEM拍摄的底片排在一起互相比较。

另外，附上我们准备样本的详细步骤及说明，包括如何曝光、显影和检查。如果你还需要任何其他的参考资料，请告诉我们。

纽曼、皮斯



费曼致纽曼|**1985**年**11**月**19**日

亲爱的纽曼博士：

恭喜你和你同事。你们做出来的东西，当然满足我想给奖的想法。其他人曾做出同样小或比你们更小的记号，但没有人试过把整页放大并印出来，特别是用512×512的点阵印表机印出来。图片每个点的宽度，大概只排得下60个原子。

我很难想象，在每边只有1/160毫米的范围里，可以印些什么东西。它比肉眼可辨识的程度还小20倍，大概只有光波波长的10倍。整部《大英百科全书》大概是5万页到10万页，若用你们的技术来处理，边长应该会小于2毫米，只比大头针的针头大一点点。

你对氮化硅方形窗的描述不太完整。这些方形窗有多大？每个方形窗代表一整页，或者一个字母（这比较不可能）？以后在电脑上会不会有更进一步的应用？

正如很久以前的承诺，我随信附上1000美元支票，祝贺你们的成就。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：这封信等于是纳米科技早期发展史的句点，也揭开了纳米科技新时代的序幕。

费曼致纽曼夫人（**Joan T.Newman**）|**1986**年**11**月**10**日

纽曼夫人是前两封信中纽曼的母亲。纽曼得到费曼给的奖金之后，他母亲特别写信给费曼表示感激：“谢谢你的奖励，不但鼓舞了你自己的创意，连带也鼓舞了你的学生与读者的创意。”虽然她自己完全不懂物理学在研究什么东西，她却为儿子和他的成就感到无比的自豪与欣慰——“没有比我儿子更适合得你的奖赏的人了”。

亲爱的纽曼夫人：

得到一封来自科学家母亲的感谢信，是多么令人惊喜的事情。我很高兴得知他母亲对这件事的看法，而做母亲的其实不知道儿子在忙些什么，仍然觉得与有荣焉。我知道这一点，因为我妈根本不知道我到底在做什么，却也一直以我为荣。在常人眼里，像我这样“想破了头”会有什么乐趣？像令郎那样，在实验室日夜苦干，怎么会有乐趣？但是有母亲的支持，造就了我的成功与事业。我相信在你们的家庭里，情况也是一样的。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致康奈尔大学物理系艾萨克生（**Michael lsaason**）|**1985**年**12**月**20**日

亲爱的艾萨克生博士：

这件事可能会令你感到失望，但我必须告诉你，奖金已经让别人捷足先登了。

我当然在以前就知道你的工作，而且很感兴趣。文桑特（Tom Van Sant）是我的朋友，告诉过我你为他做了什么事。我经常谈到很微小的东西，而且展示你们的神奇眼睛的幻灯片，那就像艺术家所完成的最微型的艺术。

但是当我接到斯坦福大学寄来的整页资料的缩小图片，实在太高兴了。虽然我知道有人缩的比例比他们做得更小，可我还是把奖金寄给他们了。我忘了是不是曾经很明确地告诉过你，有人已经把奖金抱走了？

开火车头，拖着大家往前跑，还真是难！我想，我不是好的火车驾驶员。

当斯坦福的人声称他们做出我要的东西之后，第一次碰面我就告诉他们，有人做出比他们更小的东西。我也提起你和文桑特一起做了个神奇眼睛。但他们给我看的，是一整页的教科书，让我印象非常深刻。他们并没有公开这次碰面的谈话内容，因此没有多少人知道他们的成就。

总而言之，祝你圣诞快乐。我随信附寄一份圣诞礼物给你，鼓励你继续进行那美妙的工作。

你的朋友

理查德·费曼

费曼致贾西亚（**Armando Garcia J.**）**|1985**年**12**月**11**日

贾西亚是委内瑞拉的高中科学教师，他在9月18日写了一封密密麻麻的5页长信来，请求费曼的协助。他班上的双胞胎学生提出一项具体事证，似乎违反能量守恒定律，但他无法提出可以令人信服的答案。而且提出问题的学生还拿这件事到处炫耀，说他们把老师给考倒了。“我教室里的学生一连好几个星期都在议论这件事，但一点结果也没有……以前的学生碰到我，也会讽刺我：‘怎么样，你把那对双胞胎解决掉没有？’”

双胞胎提出来的问题是这样的：当你把重物（譬如杠铃）从头顶放下来的时候，重物的势能改变了。根据能量守恒定律，重物的大部分势能必须转移成身体里的某种形式的能量，也就是势能应该转移给身体的肌肉，对肌肉做功。但是日常生活经验却告诉我们，事情不是这样的。大家都知道，不管你是举起杠铃或放下杠铃，都必须使出全力。因此，能量不可能是守恒的。贾西亚还提到另一个例子，说登山时，不管是上

坡或下坡，都必须使力，肌肉都一样酸痛。但能量守恒定律却指出，他只有上山的时候需要做功？下山并不需要。贾西亚请教费曼，如何使我们日常生活上的经验，与能量守恒定律之间，不会产生矛盾？

亲爱的贾西亚先生：

谢谢你的来信，以及信里所提的能量问题。

你的困难是来自于你所处理的是个开放系统：有个人在流汗、呼吸（吸入空气，把空气加热，把一些氧气变成二氧化碳）、消化食物，等等，还运用自己的肌肉从事劳动工作，产生一些机械功。要找出做了某个动作之后的能量改变量，我们必须考虑到系统里的所有事情，并且分析这些事情的能量变化，才能得到总结果。譬如，我们必须考虑到空气的温度变化和空气的化学变化所涉及的能量改变；这个人所消化的食物，他流汗前后的能量变化（汗由液体变成蒸汽），杠铃位置改变的势能差异，等等。而实际上，和所有其他能量变化的大小来比，机械能在这个系统里只占了很小很小的一部分。

因此。如果没有经过仔细的检查与度量，没有人能断言上面提到的那个开放系统，总能量是否有改变。（或是不计算进出整个系统的热能和化学能，而硬说系统的能量改变了。）只注意整个系统当中，极少量机械能的增加或减少，就拿来代表整个系统的能量变化情形，是很不恰当的。若只看一个重物的上上下下，就妄言整个系统的能量变化情况，显然是不够的。整个系统所涉及的能量消耗是很大的（如身体的体温、新陈代谢变化，等等），机械能的改变，占的比例太小了，小得微不足道。

举些数字给你参考。为了保持体温和新陈代谢，我们从食物和氧气所消耗的化学能，功率为100瓦，也就是每秒要消耗100焦耳的能量。如果一天24小时，等于86400秒，我们因为新陈代谢所需要的能量就是100

乘以86400，约等于10^7焦，也大约等于2300千卡或大卡。也就是每个人每天大约要消耗2000大卡。现在，假设某人把10千克的重物举1米高，他做的功是10乘1乘9.8，大约等于100焦。以人活命所需的新陈代谢功率100瓦来看，这个做功的能量只够我们活1秒钟。

这就是为什么我们不觉得上楼梯和下楼梯有多大差别的原因。（但其实我们应该承认，若楼梯的阶数很多的话，下楼梯还是比上楼梯轻松一些。）

因此，要准确度量这个包含人在内的开放系统，能量是不是守恒，必须长时间度量所有进入与离开这个系统的能量。譬如一整天，从早餐到第二天早餐。我们可以假设在这一天之内，人的内部并没有什么变化。通常，我们可以利用动物，像老鼠来做观察。我们度量进入的气体和食物，以及排出来的东西，再度量所有牵涉在其中的能量变化。

事实上，能量守恒定律最先就是由这种动物实验的观察结果提出来的。做实验的人是梅耶（Julius Robert von Mayer，1814～1878）医师。后来对一些简单的物理和化学系统，所做的更加精确的度量，只是更确认能量守恒定律的成立而已。今日，我们甚至在个别的原子碰撞上，也证实能量守恒定律的真实性。而更复杂的系统只不过是一群原子发生碰撞的结果而已，因此，能量守恒定律也应该成立。

你的双胞胎学生把自己的感觉，以定性的方式描述出来，说能量守恒定律是错的。但如果他们仔细检验自己的判断，仔细度量那些不为人注意的、所有进出系统的能量，我认为他们将会发现以前梅耶医师已经发现过的东西。而这东西后来也经过很多人的证实，就是能量是守恒的。举起重物时消耗的氧气量，比起放下重物时消耗的氧气量，还是多一些。

学生怀疑物理定律不正确，其实是件好事。怀疑或质问的态度并没

有害处，很多新发现就是这样产生的。有所怀疑的地方，若能以实验来检验、解答，就须以实验来检验、解答。能量和温度一样，是纯量，没有方向性。若从一个任意点开始度量，可以是正也可以是负，所以能量的改变当然是有符号的。举起重物的时候，物体的能量会增加（而全世界的其他部分，能量会减少）；放下重物的时候，能量改变的符号会反过来。

由你的信看起来，在委内瑞拉，如果一个老师说某件事他不知道，或者没把握，好像会遭人耻笑。我很庆幸自己没有这种困扰。我其实是所知有限，经常会说“我不知道”。毕竟我出生的时候，什么都不知道，而又只有一点点时间可以学这学那的。如果有件事你本来以为自己是知道的，后来却发现其实自己不是那么清楚，也不是那么有把握，倒是一件很有趣的事。我的学生就经常让我体会到这一点，就像你的双胞胎学生对你提出质问那样。他们终究是帮助了我，把事情弄得更清楚。

总而言之，希望这封信对你有点帮助。祝你和你的学生好运，可以教学相长。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致《洛杉矶时报》科学记者邓巴特（**L.Dembart**）|**1986**年**1**月**15**日

亲爱的邓巴特先生：

谢谢你在社论里提到我的名字。如果你不打算写一篇更长的专栏文章，能不能请你把下面这封信，登在“读者来函”的版面？

你在《就是这么奇妙》的社论里，提到匈牙利物理学家厄否（Baton Roland von E tv s，1848～1919）1909年做的一个老实验，结果

有一些小小的不规律。有学者诠释说，这是由一种新的“第五力”造成的。你也正确地提到，说费曼不相信这种观点，但你的陈述太简短了，并没有说明我不相信的理由。这可能会让你的读者误会，说科学只是由少数权威人士的意见来决定的把戏。因此，我想利用这个机会解释一下。

如果厄否的老实验结果，真的是由费区巴赫教授所说的第五力造成的，那么在180米左右的范围，它应该就有够强的效应，会在别的实验也显现出来。例如，我们在很深的矿坑里量到的重力，准确到误差只有1%。（不管这些偏差是否表示，牛顿的引力定律需要做适当的修正。这是另一个很有意思的问题。）但如果费区巴赫的论文所建议的第五力存在的话，重力度量实验的误差至少会有15%。这部分的计算是论文作者自己算出来的（若更仔细地分析，会是30%）。虽然论文作者已经了解这种情形（已打过电话求证），却仍然声称“非常符合，令人惊奇”。事实上，这么夸张的声称，正足以证明他们不可能是正确的。

新观点总是非常迷人，因为物理学家希望发现大自然的奥秘。而任何偏离预期结果的实验，也总是很快会引起大家的注意，因为我们很可能由此发现一些新的东西。

但是很不幸，这篇论文本身就具有一些否定自己立论的内容在里面。“第五力”之所以得到这么广泛的报道，很可能是论文作者“热心过度”的结果。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：这封信刊登在次日的《洛杉矶时报》上。

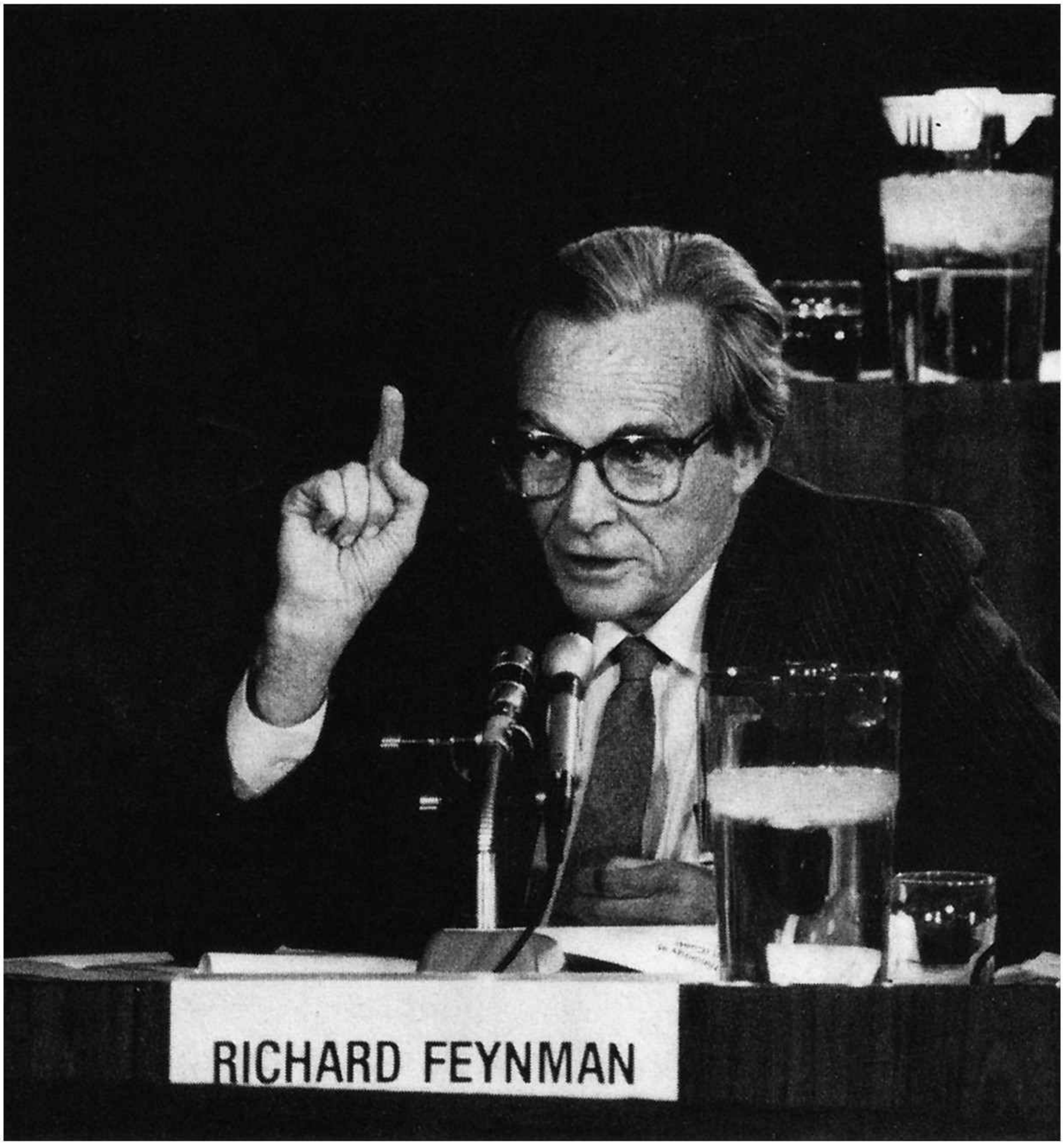
费曼致温妮丝和米歇尔|**1986**年**2**月**12**日　星期三下午**2**点，于华盛顿

这封信是费曼刚加入“挑战者号”航天飞机失事原因总统特别调查委员会时所写的。

（我找不到旅馆的信纸，所以随便找了些纸，别见怪。）

最亲爱的温妮丝和米歇尔：

这是我第一次有时间给你们写信，我想念你们。我后面会谈到我是怎么抽出一天空来（在一大堆非常无聊的会议行程中）参观访问的。这是一次探险，和我书里面那些探险故事同样有趣。温妮丝你真的说对了。我确实和其他人完全不同。我完全是自由的，可以不受任何阶层的任何人影响。而我的推理方式是单刀直入的，我也很诚实。这里有非常强大的政治力量在运作，互相较劲。虽然人们各以不同的观点，对我解释同样的事情，但我完全不予理会。我以近乎天真而单纯的心思，沿着一条笔直的大路前进。首先要查清楚的是，为什么，在物理实质原因上，航天飞机会失事？至于后面的问题，为什么有人会做出显然错误的决定，就不关我的事了。



1986年2月11日。费曼在“挑战者号”航天飞机失事调查的公开会议上陈词。他以一杯冰水的简单实验，证明O形环遇冷失去弹性，是造成意外的主因

你知道的，在星期一下午4点钟，他们告诉我，我已经获选为总统特别调查委员会的成员之一，我应该搭飞机在星期二晚上赶到华盛顿，参加星期三召开的会议。因此，星期二的一整天，在希布斯和他的技术人员的协助下，我恶补了所有和航天飞机有关的技术资料。我以前觉得

航天飞机是很无聊的东西，对它可说一无所知。现在我在相关知识上已经穿戴整齐，可以上阵了。而且我觉得自己还准备得相当充分，因为我学得很快。

星期三是委员们“非正式”的聚会，大家彼此碰面，互相了解一下。除此之外，就没有安排别的事了。主席罗吉斯（William P.Rogers）一再提醒我们，和媒体保持良好的关系多么重要，而媒体又是多么娇贵。因此，在2月5日星期四的第一场正式会议，就是公开的会议。这场会议的行程安排有一整天，会有专人为委员简报航天飞机“挑战者号”和它的飞行过程。我花了一整个晚上，拟了一份很长的清单，都是失事的可能原因。我还做了一些计算，譬如算算负载重量之类的，让整个工作慢慢动起来。

2月6日星期五，委员会的另一位成员，空军的库提纳（Donald J.Kutyna）将军，把以前他们调查泰坦火箭失事的经验告诉我们。他们做得非常好。我很高兴前一个晚上自己所拟的清单，和他们的做法不谋而合，只是没有他们的计划那么有系统、那么完整。我很高兴能有机会和这样的人共事，很多其他委员也有相同的感觉。有人自告奋勇，依自己的专才，管理调查行动的进行，或者保存记录、撰写报告等。看起来气氛不错，我们就要上路了。

但主席（他是个非技术人员）却表示：泰坦火箭的失事报告对我们没有什么参考价值，因为空军当时掌握许多详细的技术资料，但我们得不到类似的相关细节（他是公然说谎，因为载人航天飞机有更严密的监视记录资料，我们能掌握的资料远比无人的泰坦火箭多得多），很可能我们只能指出，这件事是怎么会发生的。而委员会的另一位共同主席也说，我们并不打算做那种深入细节的实质技术调查，我们只是从各方汇集技术意见云云。

我一直要设法切入，表达反对立场，但总是被什么事给打断或干

扰，例如某人走进来介绍什么的、主席又指示一个新的调查方向等。最后决定的是，我们下星期四一起到佛罗里达的肯尼迪宇航中心，听他们做简报；星期四和星期五两天都留在当地。而在讨论的早期，就有人好心提醒我们，可以个别的或者几个人一组（次级委员会）到任何地方去，得到自己想要的资料。我想要提议说，我去做某件事（有几个物理学家表示愿意和我一起工作），而且我已经把手边的工作都安排妥当，短时间内可以全心全意、完全投入调查工作。但是我似乎得不到任何工作指派，而且当我表示意见时，会议其实已经中断了。会议副主席（宇航员阿姆斯壮）又重提，我们不做实际的细部调查工作。因此，在快要结束会议的时候，我问主席："这么说，在随后的这五天内（星期六、星期日、星期一、星期二与星期三），我应该到波士顿去，做我原先的顾问工作喽？""是的，就去吧。"我被他弄得火冒三丈！我想不必解释，你也知道我为什么生气！

走出会场的时候，我相当灰心。忽然，我想到了格拉姆，他曾是我的学生，现在是航空和航天管理局的头头，也是他要求我参加调查委员会的。我打了电话给他。格拉姆接到电话之后，觉得有些惶恐。于是他打了几个电话，做了些安排，看看我能不能到休斯敦（约翰逊空军基地，航空和航天管理局的遥测中心），或亚拉巴马州的汉斯维尔（引擎制造中心）去。我拒绝了去休斯敦的建议，这样等于公然反对罗吉斯，我还不想弄得这么僵。基于尊重调查委员会主席，格拉姆打电话给另一位委员阿奇森（律师，和罗吉斯是好友），请他向罗吉斯说明。阿奇森也认为这是个好主意，说愿意试试看。但后来回我电话的时候，他说很奇怪，罗吉斯居然不同意这样的安排。罗吉斯坚持"我们要依正常的方法办事"，不同意我一个人到处乱跑。

后来，格拉姆想到一个折中的好办法：我还是留在华盛顿，虽然接下来就是周末假期，他还是要他手下大将（都是推进系统、引擎和航天飞机方面的高级主管）到华府来，和我做深入的交谈。我认为这安排也

可以。后来罗吉斯打电话给我，想抓住我的脚跟。他解释自己是好不容易才把这个调查委员会弄妥当，而且现在各界对我们都虎视眈眈，准备看笑话，因此照规矩办事有多么重要等。最后他问我是不是还想去航空和航天管理局？我说“是的”，我说我们已经开过两次会了，还没有谈到该怎么着手进行调查，或者该怎么分工。（会议上大部分都是罗吉斯在发言，说他是如何熟悉华府政治圈的运作方式，和媒体保持良好的关系有多重要，为什么非要按部就班照章行事才行：告诉那些记者，任何问题都要找他，罗吉斯，得到的回答才算数，等等。）

罗吉斯最后问我，是不是希望他召集所有的调查委员，星期一再度开会，讨论我希望的分工？我说“是的。”他话锋一转，说：“好，你可以留在华盛顿听报告。”接着说：“我听说你对住的宾馆不太满意。我来替你换一家比较好的宾馆。”我不想要占这种小便宜，就回答他，这家宾馆很好，不必麻烦了。我个人的舒适与否，与整个委员会的调查行动比起来，根本微不足道。他不死心，又提了一次，我再度拒绝（这使我想起当年在伦敦机场，“给他一杯茶，安抚一下”那件往事）。

因此整个星期六，我就听航空和航天管理局的人为我做简报。当天下午，我们深入讨论到助推火箭每节箭体之间的接头和O形环的细节。O形环可能是关键，它在以前也曾局部失效过，或许是挑战者号失事的主要原因。星期天，我和格拉姆一家人到太空博物馆参观，就是卡尔最喜欢的那个博物馆。我们在开馆之前的1小时就进入参观，完全不必和别人挤来挤去。毕竟他是航空和航天管理局的大老板，这就是权势。

这些日子的傍晚，我都到表妹法兰西丝和恰克的家里吃晚饭，消磨这段时光。他们很热诚地接待我，让我充分放松心情。但是我并没有像往常那样，说很多故事，因为他们夫妇都在传媒界工作。我不愿泄密，也不愿有泄密的嫌疑。我曾告诉罗吉斯，我在华盛顿有这门和传媒界很近的亲戚，去拜访他们不知道方不方便？他很大方地说：当然没问题，

他自己也有亲戚朋友在美联社工作，他也记得法兰西丝，等等。我对他的反应感到很开心。但现在当我在写这封信的时候，我开始有不同的想法。罗吉斯似乎太没戒心了，在对我们一再告诫泄密的严重后果之后，居然这么对我不设防？

这件事让我提高警觉。你看，亲爱的，我已经染上弥漫在华府的疑心病了！当他想打击我或阻止我做某件事的时候，一定会控告我泄露某些非常重要的资料。我想这件事里面，一定有某些东西是有些人不愿意我发现的。如果我太接近禁区，一定有人会设法打击我，令我形象或名誉受损。但我认为自己有金钟罩，应该是刀枪不入的。其他的调查委员像库提纳，就有空军的立场要兼顾。莱德（女宇航员）是约翰逊空军基地的人，等等，每个人似乎都有些顾虑，会投鼠忌器。

不过我还是要多加小心，注意到可能来自四面八方的冷箭。其实没有人是真正刀枪不入的，他们会躲在你背后的暗处。因此，为了提防暗算，我停留华盛顿期间就不再去拜访法兰西丝和恰克了。或许我先问问法兰西丝，是不是太神经质了。罗吉斯已经再三保证没关系，但他对我的态度过分轻松了。我很可能是他的眼中钉呢。

不论如何，星期一和星期二，我们各有一场特别的内部会议与公开会议。因为《纽约时报》登出一则消息，斗大的标题，说有内部资料指出，接头的O形环可能是危险的所在。但这件事在我启程赴华盛顿之前，就已经知道了。喷射推进实验室（JPL）的人已告诉我相关的细节。这件事考验调查委员会对媒体关系的紧急应变能力。在此之前，我们还没有做过一件和调查真相有关的事。到现在都还没有。我们明天早上6点15分要搭专机（两架飞机）到肯尼迪宇航中心去听简报。无疑的，他们会把所有的东西都告诉我们，而且是一群真正的专家。但你就是没时间和其中的任何人做详尽的细节讨论。好吧，此路不通。不过，若我对星期五的行程或内容不满意，我决定周六和周日留在那儿继续讨

论。如果还是不满意，就继续待下去。我已经决定，要找出究竟发生了什么事，让所有的馅都露出来。

我很像一只闯入瓷器店的母牛。他们最好的办法是把母牛拉到店外，让它回到农庄上犁田。其实更好的比喻是，我是一只进了瓷器店的公牛，因为那些瓷器的造型做成了母牛，现在他们怎么拉我都拉不走的啦。

我猜，他们打算用排山倒海的数据和细部技术资料来撑死我，希望我把全部的注意力都放在技术细节上，这样他们就有充分的时间来修饰那些危险的证据。但这种诡计不会得逞，因为（1）我对技术资料的胃口很好，消化力奇佳，远超出他们的想象；（2）我已经闻到一些气味，而这种气味我是不会忘记的。因为我喜欢探险，最擅长追踪那些蛛丝马迹了。

我真想留在家里，不管做些什么别的事都好。但我在这儿也还好啦。

拉尔夫今天早上从瑞典打电话给我，报告他美妙的进展。赛克斯也和他在一起。唉，唐努乌梁海！

爱你们的

理查德

附笔：赛克斯在17日左右会到洛杉矶来，停留几天。这封信如果你按下私密的部分，也别把其他内容全透露给他算了，虽然前面有些牢骚，但其实一切还算好。

再附笔：留下这几天的报纸。我今天早上到五角大楼去。他们把《纽约时报》的剪报寄到家里去了。

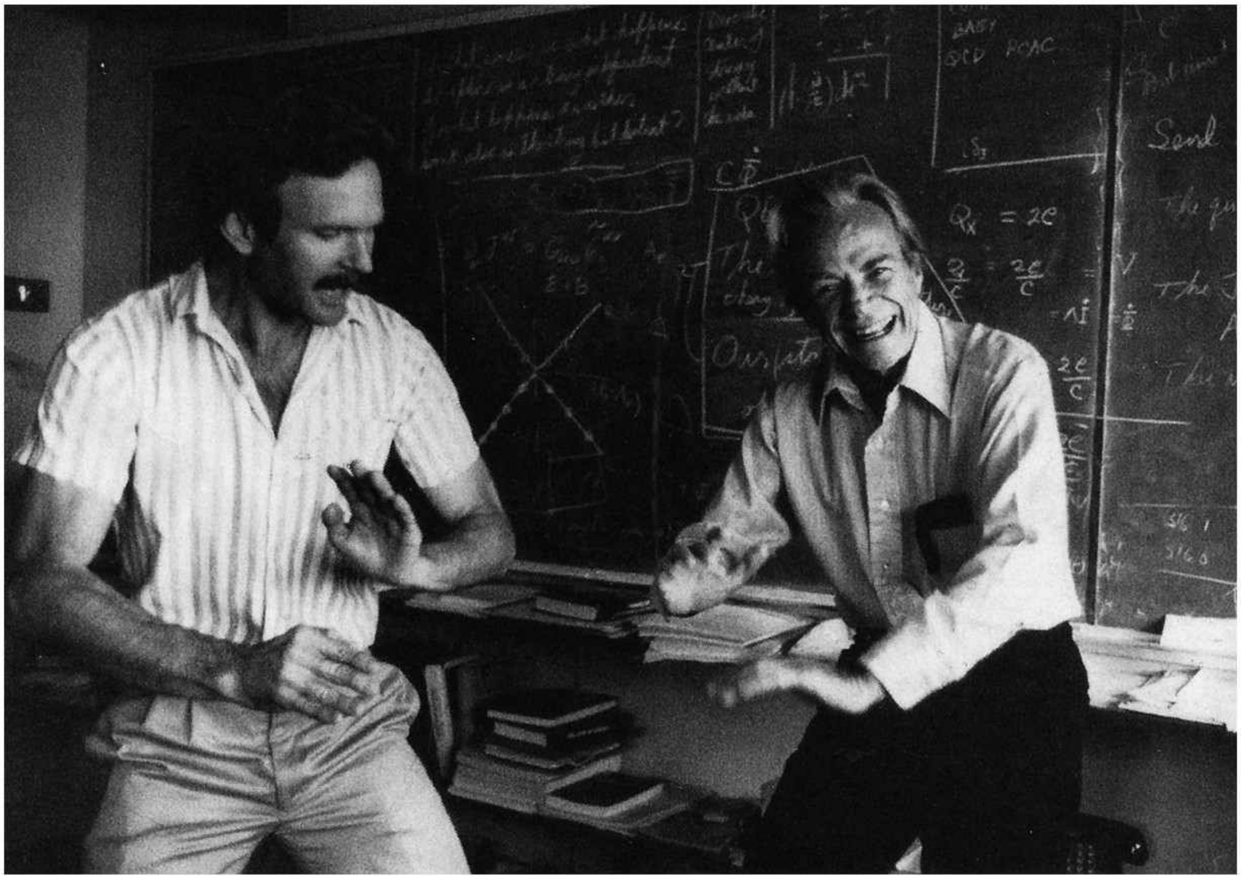
※米歇尔注：拉尔夫·莱顿是费曼的老朋友，一起打鼓的同伴，也是《别逗了，费曼先生！》和《你干吗在乎别人怎么想》这两本书的共同作者。费曼记得自己搜集的20世纪30年代的邮票里，有个湮没无闻的地方叫“唐努乌梁海”，因此向拉尔夫挑战，要他去找出这个地方。这段冒险故事叙述在拉尔夫所著的《费曼的最后旅程：发现唐努乌梁海》（Tuva or Bust）中。

费曼致罗吉斯主席|**1986**年**5**月**24**日

亲爱的罗吉斯先生：

我很抱歉自己必须在星期六中午的时候离开，因此没有时间和你充分讨论调查报告里的问题。我觉得我们的航天飞机失事调查报告，对航空和航天管理局的航天飞机计划似乎批评过度了。我希望借着这个机会，更详细地表达我的立场。

我们的责任，是找出航天飞机失事的直接原因或最可能的原因，并且提出建议，避免以后再发生这种意外。很不幸的，我们发现在行政管理上有很多严重的瑕疵，也是发生事故的可能原因。而且这并不是个案失误，而是普遍存在的缺失。因此，我们在报告中列出了我们观察到的证据和我们的看法。



好友拉尔夫·莱顿是一起打鼓的同伴，也是《别逗了，费曼先生》和《你干吗在乎别人怎么想》的共同作者。摄于1987年

这件事对我们国家的太空计划该如何继续实施，已经产生严重的影响。因为太空计划牵涉的预算非常庞大，而且有很多其他的支援性计划都和航天飞机有关，可谓牵一发而动全身。更不用提那些更重要的增加军事与科学力量，或商业性的太空应用活动了。我们国家整个的太空计划和它的定位，都将重新接受全国人民、国会和总统的检验。我们并没有充分讨论这种形势，我们在报告里所做的建议，也没有这么宏观的格局。我认为，我们应该提供必要的资讯，让做决策的人，可以据此做出聪明的决策。

我们的责任是尽可能提供完整、公平而正确的资讯。我们已展示出各种事实，可以说做出了很漂亮的调查工作。报告里对航空和航天管理

局航天飞机计划的大量负面观察，让人看得触目惊心。这结果令人很遗憾，但很不幸的却都是事实。如果我们意图隐瞒，反而可能造成更大的伤害。如果总统要做出明智的决策，他必须知道所有的内情。

如果我们的报告看起来不太平衡，那就应该把另一面的证据也包括进来。我们是不是也把调查过程中所看到的，他们做得非常好的工作也包括进来？或者在建议中提到这个计划中的某些好的东西，应该要持续保持下来。其中一个例子，就是计算机软件检验系统。

虽然我看起来似乎太天真了，还有些盲目的乐观，但是我觉得航空和航天管理局对这次调查工作的态度很不错，他们尽全力配合，把所有资料摊开给我们看，没有丝毫隐瞒，包含进行所有我们要求的测试。航空和航天管理局对我们这个事故调查小组是完全开诚布公的。

总而言之，如果我们在报告里，只字不提航空和航天管理局所做的那些很棒的事，对我们的报告反而是个缺点，至少代表它不完整。对照我们在报告里所呈现出来的大量例证，这个缺陷就更显著了，好像我们这些委员都耳不聪、目不明似的。

我下星期一将回到华盛顿，我们可以和其他委员一起讨论这个问题。我们可以有一整个星期的时间。或许他们可以说服我，说我的观点偏离我们调查委员会的主轴。那么我也许会改变主意。当然我现在对这一点还持保留态度，我目前仍是相当坚持的。

我同意我对“可靠度”所做的报告，不必放在调查报告的正文里，而以附录的方式来处理，只要它不是消失在档案里就行了。这是我们双方都可接受的折中方案。

调查委员费曼，诺贝尔奖、爱因斯坦奖及厄司特奖章得主，政治的门外汉。

费曼致阿奇森（**David Acheson**）|**1986**年**11**月**5**日

航天飞机失事调查委员会的任务结束之后，其中一位调查委员、律师出身的阿奇森写信来，谈到别的调查委员的消息。他听说费曼生病了，特别祝他早日康复。

亲爱的阿奇森：

谢谢你来信告诉我那些消息。

我正在家里休养，身体也慢慢恢复。我也希望什么时候能再和你见个面。但除非是法院的传票，没有什么东西可以再把我弄到华府去了。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致航空和航天管理局宇航员办公室主任杨恩（**John W.Young**）|**1986**年**12**月**8**日

杨恩博士写信来，感谢费曼在“挑战者号”航天飞机失事调查委员会的工作。“我们知道这是一项非常困难的任务，不管是技术上、实质上或情绪上都很不容易处理。你的报告周密而有见解，可以协助航空和航天管理局尽快回到正常的运作轨道上。你对国家和我们宇航员办公室，有很大的贡献。”

亲爱的杨恩博士：

谢谢你对我在挑战者号航天飞机失事的调查工作的赞美。

很抱歉我没有时间直接和宇航员讨论这件事，或者非正式地和你碰个面。我们在调查委员会内部有分工，这一部分是由莱德博士负责的，

她也如实把你的意见传达给我们大家。

在一次我们举行的公开听证会上，哈兹菲尔德、你和其他的宇航员都做了证词。仔细分析你们的证词之后，我对你印象特别深刻。似乎只有你能以清晰的思路，考虑到未来的发展和事故的原因。接着我们由后续的听证会，很快就看出，一些高级的管理人员根本是不知所云，尽说些：没有人告诉他啦，不知道信息传递系统会崩溃啦之类的废话。没人告诉他们是因为他们不喜欢有意见，不爱听坏消息。他们通常只在意自己在媒体和国会的形象。因此基层官员都知道的真相是：你自己想办法解决，不要来烦我，不过不能把事情搞砸。

就像《绿野仙踪》的故事一样，尽管航空和航天管理局在这方面一直维持良好的声誉和传统，但只要出现几道屏幕，沟通系统就不良了。我听说近来又发生同样的事，复杂的问题以不显眼的方式，出现在某个角落里。连所谓的联合检查小组都得不到相关的资料。

你们宇航员能协助清除这一滩死水，让它保持流动和新鲜吗？

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致库提纳|**1986**年**12**月**8**日

有一份《柯刻报告》（Cook Report）指出，“挑战者号”航天飞机的失事调查委员会，在政府的授意下，掩盖了事实的真相，藏起许多发现到的事实，并且协助航空和航天管理局的人作伪证。

亲爱的库提纳：

谢谢你寄给我《柯刻报告》的资料，我早就预料到会发生这一类的

问题。当然，它里面有些批评是相当敏感的，而每一次的调查，不管对象是什么，由什么团体来主持，永远都有些偏执狂在一旁虎视眈眈，伺机提出尖刻的批评。你也是调查委员，亲身参与了这个工作，当然知道自己做了一件了不起的事。这不是局外人能够了解的。然而，如果主席当初肯采纳我们的意见，报告就会更完美了。当然，历史已经告诉过我们，仅有的一个完人，已给钉在十字架上了。

报告里有一段鬼话：“有证据显示，航空和航天管理局的人不仅在调查委员会的公开听证会上作伪证；甚至在不公开的会议上，委员们也建议他们捏造证据。”你会相信吗？

我的外科手术很成功，身体恢复得很好。希望不久可以安排一下，再度会面。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：库提纳将军告诉我，曾任航空和航天管理局资源分析师的柯刻（Richard C.Cook）发现，事故之前，航空和航天管理局已准备增加预算去修补O形环。航空和航天管理局早已知道O形环的瑕疵会影响飞行安全，却没有及时处理。库提纳将军表示，从来没有听说作伪证的事。他认为，航空和航天管理局的沉默使柯刻误认为调查委员会掩盖事实。调查委员会其实在调查过程中，已指出航空和航天管理局的疏失，才导致这次失事。费曼在调查报告的附录F，都有详细的叙述。库提纳将军强调：“特别委员会的调查方向是锁定在：找出航天飞机意外爆炸的技术原因，而非扮演抓鬼大队去怪罪任何个人。”

加拿大帕尔默（**Leigh Palmer**）博士致费曼|**1987**年**1**月**1**日

亲爱的费曼教授：

我儿子大卫告诉我，你身体不适。我听了觉得很难过。我要告诉你上个学期发生的一件事。我觉得这件事，基本上和你有一些关系，而它正好展示出一种很强烈（但可以避免）的人性弱点，是一种在学习上的偏见。

大概有二十几年了，我一直想了解汉伯里布朗（Robert Han-bury Brown，1916～2002）和特威斯（Richard Twiss）的强干涉（intensity interference）效应。我好几次问同事，请他们为我解释这个效应，好让我这颗实验主义的脑袋，多少吸收一点理论，但总得不到令我满意的回答。我甚至怀疑我问过的人，到底对我只知道字面意思的这东西，了解多少？我只知道他们经常卖弄一些名词，像“玻色-爱因斯坦凝聚”之类的，那对我并没有帮助。那一期间，我甚至负责讲授大学部和研究所的光学课程，还教了好几学期的统计力学，其中包含量子统计学。我以为自己是了解这些东西的。但对“汉伯里布朗-特威斯”这玩意儿，就没有把握了。

后来，我女儿从华盛顿大学的书店买了一本《量子电动力学》给我。（这本书在加拿大的温哥华，居然买不到。）我是在《科学美国人》杂志的书评上看到这本书的。我很开心地阅读，但当时我还在教书，阅读的进度很慢。我是用物理学家的身份来看一本为喜爱科学的大众所写的书。当然，我并不懂量子电动力学，也希望能从这本书得到一些见识。当我跟着书里清晰的思路前进，我知识里的一些空隙就慢慢给填补起来了。了解了自己在读什么东西之后，我开始详读书里的注解。长久以来存在心里的“汉伯里布朗-特威斯”疑惑，居然慢慢地云开雾散，忽然就明白它是什么了。我不放心，又翻回前面，重看了一遍。这件事最重要的启示是：我发现至少有个领域，是我一无所知的。

这件事的教训非常清楚：一个准备好的心灵，随时可以吸收知识：但同样的心灵，如果自行设定“我是学不会的”，则也固执得无法突破和

穿透。在我的授课经验里，当然经常必须克服学生的这种心态。我一直以为自己没有这种毛病，已经免疫了，现在终于明白无法身免。到了50多岁，居然还能从教学大师那里学到一些新东西，实在是一件很开心的事。原本我以为自己永远无法了解这件事的，但是你对我解释了那是什么，而在解说之前并没有先告诉我，你现在要解释的是什么东西。我的心灵没有设防，因此没有抗拒你传达进来的东西。我以后会记得这个高明的手法，在教学的时候用上去。你并不是有意如此，不过若是学生存心排斥学习某个主题时，这是一个非常有效的穿透技巧。

我们全家每个人都很珍惜这份和你、你家人的缘分。虽然我们远在加拿大的英属哥伦比亚，我儿子大卫不可能跑到加州理工学院去当你的学生，但他从你的书，也间接受到你很深的影响。希望新年带给你和全家平安喜乐，祝你早日渡过难关。

诚挚的祝福你

帕尔默

费曼致帕尔默|**1987**年**1**月**12**日

亲爱的帕尔默博士：

在教和学的过程中，最神秘难解的，就是存在于两者中间这种很明显的障碍。它是如何产生的？该怎么去克服呢？

你学习“汉伯里布朗-特维斯效应”的障碍，很幸运地消除了，但我们真的学到一项有用的技巧了吗？或许有的学生会受这种方式启发，就是“教授在说明某项主题之前，没有先说明自己想解释些什么”。问题是，班上通常有很多学生，他们都是不同的个体，想法也都不一样。对某些学生有效的方法，对别人可能无效。不过，有时候我们有机会个别指导学生（只有在这种时候，我才觉得自己是个有效益的好老师），这

时候，或许这项技巧可以派上用场。谢谢你提醒了我这一点，我只是偶尔不自觉地用上它，自己并不知道。

我记得在拜访西蒙弗雷泽大学（Simon Fraser University）的时候去过温哥华，印象非常美好。谢谢你又让我忆起这段美好时光。

诚挚的祝福

理查德·费曼

费曼致约德尔（**H.J.Jodl**）**|1987**年**4**月**10**日

德国凯泽斯劳滕大学（Universit t Kaiserslautern）物理系的约德尔教授写信给费曼，要求翻译并重印《科学是什么？》一文。

亲爱的约德尔教授：

我同意你可以翻译我的文章，登在你的杂志上。不过现在世界已经改变了，我文章里有一段文字，描述“一个女孩教另一个女孩，如何编织彩色的菱形花纹长袜”。你能不能为我加上一段作者（费曼）的脚注？我想加注的文字是：“这世界变得多么美妙，在女性的谈话里，解析几何已经成为家常便饭了。”

诚挚的祝福

理查德·费曼

英国剑桥大学卡德（**Nigel Calder**）致费曼**|1987**年**7**月**2**日

亲爱的狄克：

我很悲伤地告诉你，我们的好朋友、老同事菲利普·戴利（Philip

Daly）已经是脑瘤末期的病人。他在5月底开过一次刀，但病情已扩大到开刀也没有什么用的地步了。

他现在居家静养，为BBC电视台做一些20世纪科学报道和广播电视史的工作。我去看过他两次，帮助他处理一些事情。

他知道自己病情严重，但并不知道那么糟糕。他自认为可以拖到年底，还和我谈起9月要在美国播出的影片。他太太佩缇倒是知道实际的病情，但是对他有所隐瞒。其实他只剩几个星期的时间，而不是几个月。

我相信他一定很高兴得到你的消息。我的意思是指一封简短的信或一张慰问卡片。太强烈的同情反而会引起他的情绪激动。这倒不是由于他来日不多，而是肿瘤影响了他的情绪。

我希望你也要好好保重，维持良好的体能状况。狄克。去年我很荣幸也很开心能在剑桥见到你，我们对量子电动力学的闲聊，让我回味无穷。虽然我的说服力不太够，不能劝你不要这么劳累。

深深祝福你

卡德

费曼致英格兰菲利普·戴利|**1987**年**7**月**22**日

亲爱的菲利普：

我听说外科医师不但对我动刀，也对你动手。希望你康复得很好。我康复得非常慢，因此向医师抱怨。他笑笑告诉我，病来如山倒，病去似抽丝，每个病人都觉得自己康复得比别人慢。因此要有耐心。

你最近有没有机会到美国来？如果你靠近洛杉矶，一定要来看我

们。可惜今年夏天我们没有去英国的计划。温妮丝也问候你。

诚挚的祝福

理查德·费曼

凡得海（**Vincent A.Van Der Hyde**）致费曼**|1986**年**7**月**3**日

亲爱的费曼博士：

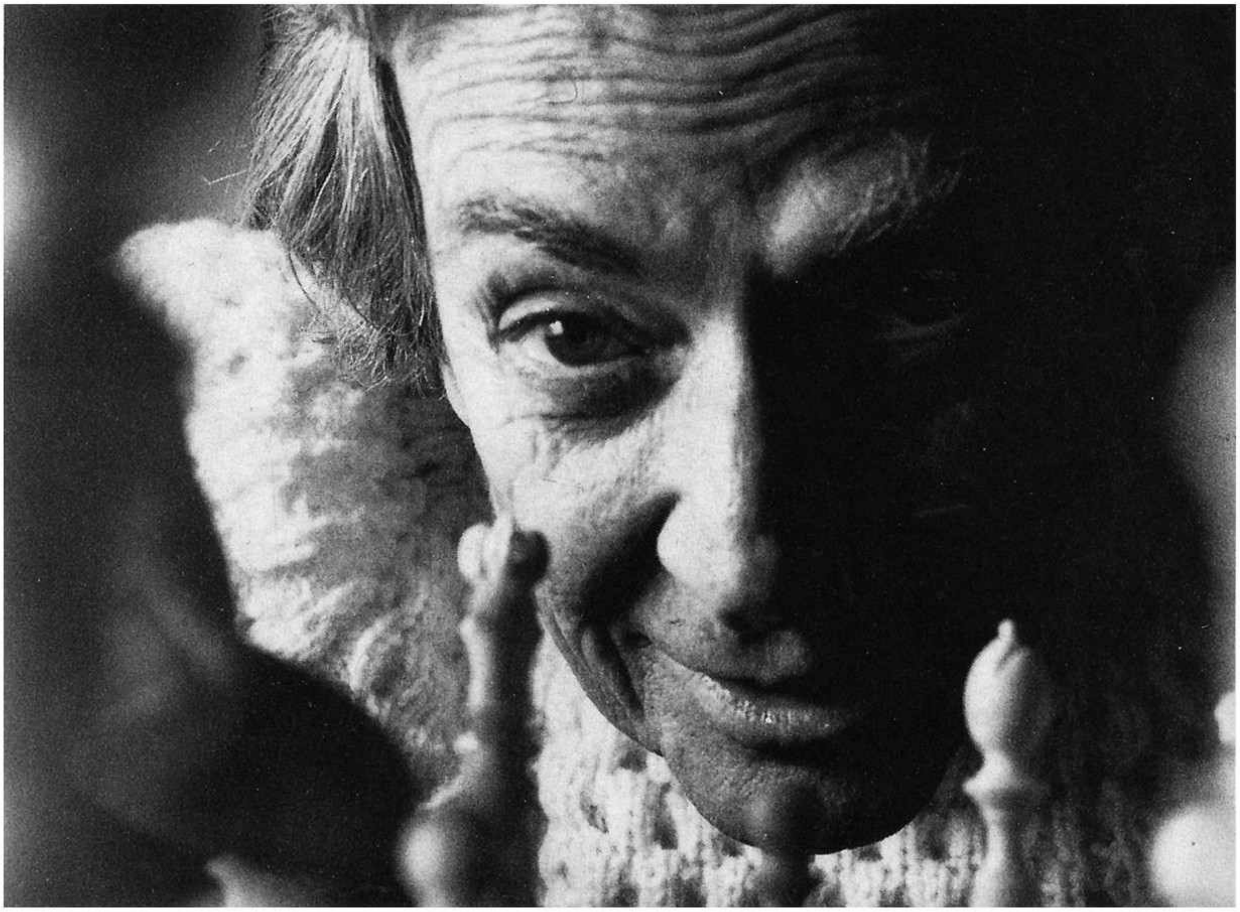
你好，这封信的开头看起来似乎有点奇怪。但是当你继续读下去，知道我想干什么时，可能就不觉得那么奇怪了。

首先，我有个16岁的儿子，应该说是继子，他非常聪明。你知道，这世上并没有什么所谓的天才，但他在数学和自然科学上，比我聪明多了。就像每个人一样，他老是想搞清楚生命的意义何在。只是他还不知道，没有人能真正搞清楚生命的意义在哪里，但这并没有什么关系。有关系的是每个人都必须过自己的生活。而我这孩子，极其聪明，数学、物理和化学都很强，爱玩遥控模型飞机，喜读机翼设计的书——上面有一堆方程式，我看都看不懂。

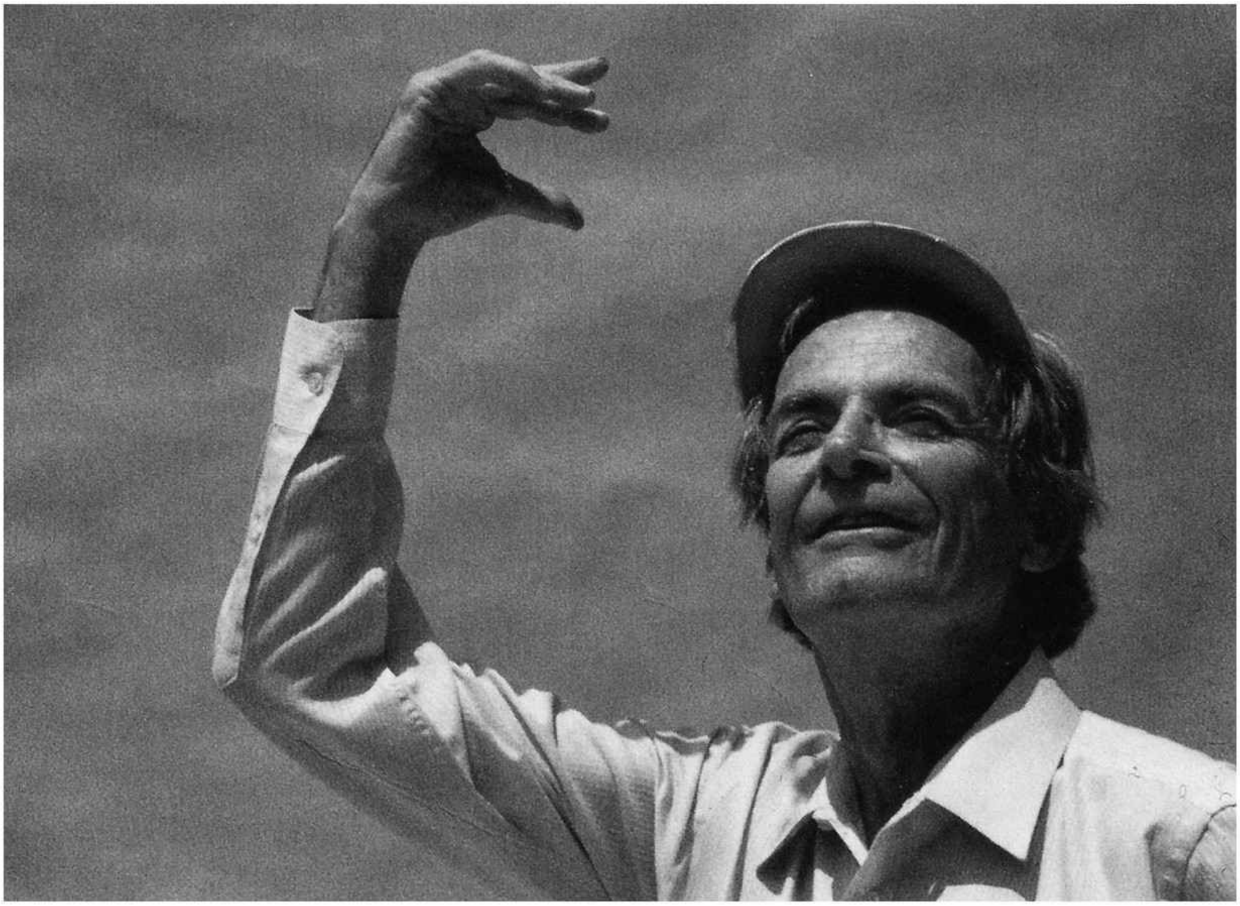
但与此同时，他还在设法成长，为自己在这个世界上设法打开一条路。他有点胖，有些害羞，并没有多少自信，因此他常假装自己够强壮、够成熟。他常常在寻找模仿的偶像，或者说是成长的标杆人物。他也很努力地面对高中课业，今年秋天，他就高中毕业，可以进大学了。大学生涯对他而言，是即将要面对的问题。他很想进一所好大学，但以他的高中成绩来说，可能会有点问题。

现在，我不想做一个紧盯着人的父亲，不想给孩子太大的压力。老实说，不管他想做什么，只要不是坏事，我都没意见。我在1960年是个电机工程师，因为我爸爸要我当电机工程师，但最后我却成为犯罪学的

专家。因此，我知道父母对孩子的压力是怎么回事，也知道最后的结果是无济于事。我只要求他不管想做什么事，都要全力以赴。这是对自己诚实、不自欺的方式。如果你有能力做好某件事，那么尽全力去做好，也是一种义务。这种想法不管是以前或现在，恐怕不太流行。但是一个有天赋才华的人，去做自己喜爱的事情时，怎么可能有所保留而不使尽全力呢？



费曼的棋局



永远的费曼

不管如何，在过去两年与他的老师讨论之后，终于浮现出某种模式。看起来，他对科学知识的吸收非常迅速。在看到你如何做好一件事之后，他也决定要尽自己所能，快速做好自己想做的事。有些老师的确鼓励他这样做，当然这很好；但是……每个学生的成绩好坏，是由考试分数决定的，而考试的内容只涵盖那些每个人都能懂的东西。我的儿子马丁认为这些东西太简单了，因此平时根本不屑做家庭作业。他宁愿去做一些他觉得有趣的事，而这些事远超出班上同学的能力，没有人会做。但是平时分数对总成绩也占了相当的比例，因此尽管他做了很多相当困难的事，学校成绩并不太好。结果，他成为一个吊儿郎当的游荡者，常给老师惹麻烦，我也只好对他严加管教。他就好像龙困浅滩，日子并不好过，整天胡说瞎扯的。对那些文科的课目，情况就更糟糕了。

但是他知道那些课程当中，很多是华而不实的花拳绣腿。你看，情况就是这个样子。

现在，重点来了。几个月前，我偶然看到一本书，书名很有趣（而且与众不同），而封面上的人看起来像个成功的喜剧演员，并不像物理学家。我和马丁两人都看了这本书，都觉得非常非常有趣。我们也注意到，几乎每个故事都有一些含意在里面。这不是一本只有一些有趣故事的书。这是一本谈到我们世界是怎么运作的书。真聪明！

我们也注意到“挑战者号”航天飞机失事的新闻和罗吉斯主持的调查委员会。委员会里有位仁兄，就是写这本书的人。他不打官腔，不装斯文，协助国家航空和航天管理局恢复正常的运行轨道。

了不起！

因此我想到，这就是我想找的那号人物了。我儿子读了他的书，开始注意所有和他有关的新闻，而他还是个诺贝尔奖的得主。那些喜欢科学的孩子会佩服而且肯效法的对象，就是这种人。

我前面说过，我有这些困扰。而你显然非常懂科学；由你写的书看起来，你显然也很会鼓舞人。谁知道像你这样的人，对一个16岁的聪明孩子会有什么影响？或许可以让他稍微静下来，仔细想一想，自己究竟是要什么。怎么才能得到自己想要的东西……

或许，你肯写信给这个孩子，告诉他，你认为“生命的意义是什么”，什么叫作“搞科学”，应该怎么训练自己，才能达成自己的目标，等等，我都没意见。请告诉他所有你想告诉他的东西。有的时候，只要知道外面有人了解你、关心你，就足够让一个小孩有巨大的改变了。那可以让孩子的翅膀伸直，鼻子抬高。谢谢你了。

诚挚的祝福

凡得海

附笔：那是一本很棒的书。希望你能再写一些给大众看的通俗读物。

费曼致凡得海|**1986**年**7**月**21**日

亲爱的凡得海先生：

你来信要求我，写信给你的孩子，说说我认为的“生命的意义何在”，等等，好像我有些智慧似的。或许我偶尔会表现出有点智慧的样子，但其实我没有。我只知道自己有些看法。

当我开始看你信的时候，我告诉自己：“这是个很聪明的人。”当然，这是因为你在信里提到的若干看法，和我想的一样。例如，“只是他还不知道，没有人能真正搞清楚生命的意义在哪里，但这并没有什么关系。”“不管他想做什么，只要不是坏事，我都没意见。”“不管想做什么事，都要全力以赴。”你还提到什么义务啦、天赋啦之类的看法，这点和我稍有差异。我认为全力以赴是你想得到真正快乐的唯一方法，并不是一种义务。对于你真正爱做的事，一定是会使尽全力的。

事实上，如果你真正喜爱什么事情，又有一点自由的话，全力以赴常是不由自主的。甚至在我那本疯狂的书里也提到（我并没有强调，但这是真的），我在画图的时候，也是身不由己，拼命想画。还有我在研究玛雅文，在打鼓，或在破解保险箱的密码时，情况都是一样的。生命中真正的乐趣，就是这种一再重复的考验，让你了解到自己的潜力有多大，究竟能做到什么地步。

有些人（譬如我，或你儿子）在年轻的时候，只想知道自己对某一个主题，究竟可以走多快、到多远、进多深。其他东西对他来说，相对的都不重要，是可以忽略的。但是日后渐渐长大，就知道无论什么事

务，只要付出足够的精力和时间，涉猎够深，都是很有趣的。因为他在年轻的时候已经学到了，如果对一件事全心投入，就会得到乐趣。投入愈多、喜乐愈大。只是后来才会发现，别的事也一样，而且几乎所有的事都是这样。

让他去吧，让他去做这种稍有偏差的学习。针对自己感兴趣的东西，全心全意投入，而不理会其他的科目。当然，我们目前的教育系统和学校的制度，会给他很低的评价，但他会得到补偿的。这比一个知道很多事，但每件事都只知道一点点的人好多了。

我讲一个诺贝尔奖得主格拉泽（Donald Arthur Glaser，1926～2013）的故事给你听，会让你得到一些安慰。他念小学三年级的时候，老师把他爸妈叫到学校来，建议他们把孩子转到启智班。老师觉得格拉泽好像有严重的学习障碍，但是他爸妈不为所动。到了四年级学到长除法的时候，格拉泽开始崭露头角，表现出罕见的才华。我记得格拉泽告诉我，在低年级的时候，老师总是问大家一些笨问题，他根本懒得回答。但是他发现长除法有点难度，答案并不是那么显而易见，而且过程还相当引人入胜，因此开始注意听课。

所以你不必太担心。但是也别让他偏离正途太远而完全失控，像格拉泽幼年那种情况。

我能给他什么忠告？他当然是不会听我的。但是你们两人，老子和小子，应该常常在黄昏的时候，一起散步闲聊，不必有什么特定的主题和路线，随便谈谈。因为父亲是个聪明人，儿子也相当聪明，他们其实有许多相似的观点。这我知道，因为我当过父亲，我也当过人家的儿子。

当然，父子俩对同一件事情的看法不会完全一致，但年长者较深沉的智慧，可慢慢引起年轻人的注意和兴趣，发生潜移默化的效果。要有

耐心，这事是急不来的。接下来，我就直接回答你在信里分别提出来的问题。

问题：应该怎么训练自己，才能达成自己的目标？

回答：很多不同的科学家，都采取不同的道路，但是条条大路通罗马。我采取的方法和你儿子所采取的完全一样，也就是非常努力的，拼命去做自己最喜欢做的事。另外设法保持别的科目不要得零分，只要能低空掠过就行了。不必考虑“以后要当什么”这种问题，他已经知道自己以后要做什么事了，因此就让他去做吧。但是对某些其他的事情，要有个最低要求，别让社会出面来阻止你，让你一事无成。

问题：怎么让一个16岁的聪明小孩静下来，仔细想一想？

回答：现在是没什么办法，我也希望这件事不要发生。但爱上一个很棒的女孩，可能会有奇妙的转变。他们只要静静地在夜里低声轻谈，或许一切就不同了。

不必担心，老爹。这是另一位也有个很棒的小子的老爹给你的意见。

诚挚的祝福

理查德·费曼

※米歇尔注：当这本书正要付印的时候，凡得海先生告诉我，他儿子马丁在大学碰上一个很棒的女孩，现在已经结婚且育有两子。马丁在夏威夷大学攻读海洋物理学的博士学位，已经到最后一年。凡得海先生认为，费曼的这封信带给他深远的影响，重要性根本无从估计。

他接着表示：“但我知道这封信对我这个为人父母的人，实在太重

要了。而且我知道，我儿子永远不会忘记，有这么一位‘大人物’曾经为他的成长，投注过这份心意。”

附录一　我有一种信仰——费曼接受《观点》节目的访谈

※1959年5月1日，KNXT电视台派史道特（Bill Stout）访问费曼，录制了《观点》（Viewpoint）节目。

史道特：诗人朗费罗（H.W.Longfellow，1807～1882）曾写道："所有的事都会改变，变成崭新、奇异的事。"这句话特别适合今天这个崭新、奇异的太空世纪。我们也可以回顾另一位诗人珈音（Omar khayyam，1048～1122）在《鲁拜集》里所写的："浑圆天盖碧深沉，月运星移古至今。莫向苍天求解脱，苍天旋转不由心。"（注：中译采黄克孙教授的七言绝句衍译。）

今天，在我们的《观点》节目里，要探讨的是你我和科学家的神秘世界之间的关系。我们邀请的来宾是杰出的年轻理论物理学家、加州理工学院的物理学教授——费曼博士。

请问费曼博士，你认为今天的科学家是不是可以用20世纪20年代，英国作家贝比思科（E.Babisco）的一句话"那个打开了门，最后才进房间的人"来形容？你和你的同行协助创造了这个美丽新世界，你真的和一般人同样处在其中吗？我指的是社会大众。

费曼：这个嘛，我们为大家所创造的世界，并不是一个社交的世界。

史道特：你的意思是？

费曼：我做科学研究的动机，老实说、严格说，并不是一般所谓的促进人类福祉。我最主要的动机是好奇，很想找出我们生活的世界是什么样子。如果按照你刚才所提的比喻，我们的确打开了一扇门，走进一间自己原先一无所知的房间，想发现里面到底有些什么；而最后的结果，自然而然地会变成一些有益国计民生的事。当你发现大自然的某些运作方式，你可以利用这些知识做些实际的用途，例如做出更好的涂

料、做出炸弹之类的东西。世上的其他人运用了科学研究的成果，因此从这种意义来说，我们也为大家打开了那扇门。

史道特：你对科学成果后来的实际应用，并不太介意？

费曼：也不能这样说。身为人类的一分子，我当然也会关心。

史道特：但身为一个科学家又怎样呢？

费曼：这个嘛，我做科学研究的主要动机并没有那么直接。我是说主要动机，当然还有一些别的动机。毕竟人类是一体的，你也生活在其中，所以也会想知道自己研究的东西到底有什么用处。当然最好是不要给用在歪路上，但是任何应用你都会关心。当你发现自己研究出来的东西，经过某种巧思发展成某种东西，而对人类有实际的用途时，还是很有趣的。这样的科学研究总是带来重大的好处。当然，你没办法确定一定会带来好处，因为在你做研究的时候，并不知道最后会是什么结果，你发现的东西究竟会造福人类还是贻害子孙。因此，你不会有发现一件有用东西的满足感和喜悦，因为你同时可能觉得，它或许会变成很可怕的东西。任何新的想法，都有善恶两面的可能用途。

史道特：例如原子弹。

费曼：那些由核裂变产生的巨大能量，既可以用来制造原子弹，也可以用来发电。这就是一个例子。

史道特：像这种核裂变的研究，最后出现了原子弹，会不会令当初参与研究工作的科学家，产生心理上的困扰？

费曼：让我先以科学家的立场来回答这个问题，再以一般人的身份来回答。首先，关于发现“原子核裂变”这件事，完全没有心理困扰，它非常刺激、非常令人兴奋。以前都认为原子核是牢不可破的，没想到当

你用适当的东西去碰撞它，它就分裂成两片，像水滴一样溅开。这是非常有趣而迷人的事。核裂变之后，释放出巨大的能量，并逸出很多中子，也产生了放射性，可以用在其他实验上。这些结果很令人兴奋。

接下来要谈核裂变释放的巨大能量。常有人说，是科学家造出原子弹来。其实不然，是工程界做出来的。制造原子弹的原因是第二次世界大战期间的一种军事需求。当然，很多科学家也投身其中，但当时他们所做的，并不是科学研究。大战期间，他们都变成工程师，他们为了执行这项军事任务，纷纷离开实验室。科学家有时候也会为别的事离开实验室，例如想利用核能来发电。但不管是什么用途，这些都和科学研究是完全不同的。

现在，我以身为人类的一分子来看这件事。确实，我在大战期间参加了原子弹的研制工作。若问我现在对这件事觉得怎样？我自己有一种理念，就是不为过去所做的事懊悔，只是设法记住你当时为什么做出那样的决定。当时，我之所以离开实验室，是因为赢得战争的胜利非常重要，覆巢之下无完卵。每个当代的人都了解，为什么会发生第二次世界大战。我们害怕如果德国人抢先做出原子弹，世界局势将不堪设想，因为当时德国是由一个丧心病狂的疯子在领导。我不知道人类文明究竟可以维持到什么时候，但是我知道，如果德国科学家先造出原子弹，我们将毫无希望，人类的文明很可能就此毁灭。因此，我投入这项任务最主要的理由，是害怕德国科学家先做出原子弹。我觉得我有义务去研发原子弹，帮助我们国家在战事中取得更有利的地位。

史道特：所以说，你和你们这类的科学家，并不是工程师，不会做出实际应用……

费曼：理论和应用是很难截然划分的。同一个人，有时会同时做两种事。

史道特：但你现在做的事是科学家的事。你对制造更好的汽车、更好的涂料和新的冷冻食品这一类的事，并没有兴趣……

费曼：对于我做的事你是很容易立刻区分的。我做的工作并没有什么秘密。它是国际性的，全世界都知道。各国科学家不但经常有信件往来，也定期借着科学期刊来讨论。苏联人也会告诉我们，他们在做些什么，我也会告诉他们，我在做些什么。这是一种跨越国界的共同努力，目标是共同的，动机就是世界上到处都存在的好奇心。请原谅我打断了你的话。

史道特：没关系、没关系。你正好解释了我想要问的重点。当我们跨越了这种自由交流的科学领域，就进入工程应用的范畴，例如制造原子弹、火箭或其他东西。因此，就出现许多保密的问题，限制了意见的自由交换。你从事过任何机密性的计划吗？

费曼：没有。

史道特：这是出自个人的意愿吗？

费曼：是出自个人的意愿。

史道特：你就是不愿意参加机密性的计划喽？

费曼：这么说吧，我主观上不喜欢这种工作，那是因为我想研究科学，想找出大自然是怎么运作的。四时行焉，百物生焉，大自然的运作并不是什么机密，因此科学研究也不应该是机密的。科学和机密扯不上边。机密的部分是后来工程发展的需要，而我对于这部分工作没什么兴趣。除非是在世界大战期间那种压力之下，我才会去做。

史道特：我怀疑，你今天这种不喜欢工程发展的工作，和不参与机密性计划的态度，可能是当年参加原子弹研制工程的后遗症。

费曼：是的，我相当不愿意参与机密性的计划。

史道特：为什么？

费曼：理由很多。我认为事情本身是没有什么机密的，那是人为加上去的。我觉得，一个人若是必须决定自己做的事情当中，什么是可以说的，什么又是不能说的，那会非常辛苦。对我而言，那是很难的事。而且我觉得整个民主的理念，就是主权在民，人民应该要充分知情。当机密存在的时候，人民其实是被蒙在鼓里的。

现在，有一种很天真的看法，说如果没有保密措施的话，苏联人就什么事都知道。但另一方面，采取保密措施的结果，却发生一些很有趣的现象。有些苏联人不希望我们知道而奋力保密的事，我们其实已经知道了；但我们也得保密，不让对方察觉我们已经知道了，我们要假装什么都不知道。这不是很可笑吗？我认为这种保密措施，使事情变得过分复杂了。

史道特：有报告指出，其实苏联在发射第一颗人造地球卫星之前，我们就知道了，只是没有告诉一般老百姓而已。

费曼：对，就类似这种情况。

史道特：因此，大部分美国人都让这件事给吓了一跳，觉得非常恐慌。主因是事先毫不知情。

费曼：这是一个很好的例子。因为知道或不知道苏联人要干什么事，差别很大。故意秘而不宣，会让大家受到很大的震撼。这件事其实很重要，但我们一直被蒙在鼓里。另外还有一点，从事机密性计划还有个难处，它会让你有精神分裂的感觉。你必须记住，哪些事是你知道但不能张扬出去的，因此会造成你尽量少开口的习惯。万不得已必须讲话的时候，会支支吾吾的，一副口齿不清的样子。因为有些主题，一旦你

开始侃侃而谈，就不知道自己会不会不小心说漏了嘴，把不该讲的机密泄露出去。所以，我不喜欢做有机密性的工作。

史道特：你说了很多保密措施的缺点。那么你对于忠诚宣誓，以及伴随政府保密措施而来的思想监控，还有，科学与工程领域的行政管理工作有愈来愈多的趋势，有些什么看法？

费曼：这些是政治性很强的复杂问题，我愿意承认自己不知道。我个人当然有些意见可以表示。但我并不认为自己在这方面的意见，一定比别人的意见更高明、更有价值。

史道特：除非你自己在这个系统里面工作，又必须处理这些问题，你才会发声。

费曼：不错。我对这些问题并不太熟悉。

史道特：你刚才提到，民主的力量来自告知人民。你觉得自己和别的科学家，不考虑那些参与最高机密的技术发展的人，而是像你这种纯粹研究科学的人，或你在加州理工学院的同事，是不是已经善尽了告知大众的责任？告诉他们世界可能的变化与走向？如果没能告诉大家现在的世界是什么样子，至少告诉大家明天的世界是什么样子。

费曼：并没有，我们并没有尽全力。如果我们全都把手边的研究工作停下来，开始做教育百姓的事，大家对科学的内容和本质应该会更了解。但是大家不要忘了，这群人的专业是学术研究。他们之所以投身科学研究，主要是因为他们对大自然有兴趣，对和人沟通比较没兴趣。很多科学家非常醉心于工作，优游在个人的小天地里，就是不太喜欢和别人打交道。因此，告知群众并非他们的主要兴趣，效果当然也就打了折扣。

但这种说法并不能以偏概全。科学家也有很多类，有许多科学家也

很喜欢做知识传播的事。事实上，所有科学家或多或少都在进行科学传播的工作。我们教书，把知识告诉学生，我们也常演讲，尽量让一般人能听懂我们在讲什么。偶尔也写书，还经常发表论文。但将科学知识传达给一般人，是非常困难的事。由于近两三百年来，科学发展一日千里，累积了大量的知识。但一般人对这类知识往往一无所知。有时候，人们会问你在干什么，但要解释给他们听，却需要很大的耐心。因为你做的，可能是科学发展最尖端的领域，而要了解这个东西，需要有许多背景知识。这些背景知识是两三百年的科学研究成果累积出来的，想简要地说明这两三百年的背景知识，是非常困难的。因此，人们也不容易弄懂你在做什么。

史道特：到目前为止，我们听了很多关于科学的事，以及科学家应该尽量和一般人沟通的想法。但是你做的那种科学，那种非常高深的纯理论科学，有可能向人们说清楚、讲明白吗？或者，你觉得他们会有兴趣知道吗？或许他们只想知道实用的科学，那些会改善生活，使明年的汽车更美观坚固、轻巧安全的科学？

费曼：一般人确实是有你提到的那种倾向，但并不是所有的人都如此。还是有很多人想要知道，我们的世界是怎么运作的。一般人问的问题可以分成三类。第一类是，这件事和我有什么关系？第二类是，它和你有什么关系？你在做些什么事？这是因为他们对我这个人感兴趣。最后一类是，星星为什么会发亮？你看，只有最后这类问题，谈起来才有意思。因为最后这类问题的动机是好奇心，和你研究科学的动机是一样的。因此，你立刻会有一种得遇知音的感觉，很想去满足他的好奇心。你就会花很多时间，对他解释星星为什么会发亮。他则报以会心的微笑，大家都非常开心。但如果人家问的是："你到底在干什么？"他想知道的是你，而不是事情，就没有前面的问题那么有趣了。如果问题变成第一类的"这和我有什么关系？对我有什么影响？"那就更无趣了。因为我不知道自己研究的东西，究竟对什么人会有什么影响。我完全没有办

法回答这一类的问题。

史道特：若是对你的工作，表达出很自私的兴趣，你就没办法回答了。

费曼：如果你是指某种负面的想法，我想是的。

史道特：我不是这个意思。我不认为考虑到自己，一定是负面的想法。

费曼：我同意你的看法。但这就是科学和社会的关系，以及它的效应。我从事的工作对社会有什么效益？从某种意义来说，大家注意的大部分是它的机械效益或具象的效益。问科学对大家的生活会有什么影响，不就等于在问，科学会不会影响明天汽车的大小？能不能只按一下按钮，食物就煮好了、跑出来？一般人所谓对生活的影响，很少是指精神或思想这类抽象的东西，例如：会不会影响我们对这个世界的认知？影响“我们来自何处、去往何方”的哲学理念？或者“地球是个在太空中旋转的球体”的观念是对的，“地球趴在一只大象的背上”的想法是错的？你看，这些想法都来自科学的结果。我认为科学最有趣的结果，是影响人们的理念与想法，而想法的改变又产生新的研究和调查。这种影响才是最深远的，远超过技术改进的层次。我们现在能以电波传递电视画面，这件事当然很有意思。但更有意思的是，电波是借什么传递的？如何传递？光和电之间有什么关系？等等。我觉得这些东西很令人兴奋。这和所谓的社会责任并没有什么关系，它属于智能的范畴。

史道特：你期望我们这种社会里，有很多人对光电之类的原理充满强烈好奇心吗？

费曼：我不知道你能期望什么，但很多人都是有好奇心的。我对大众有不小的信心，因为我经常和很多人谈话，接触到很多的人。他们不

全然倾向于实用的立场。我发现他们大都对科学原理很感兴趣，他们并不是只关心自己和生活。不过话说回来，虽然有好奇心的人很多，但是真正对外面的世界有兴趣的人，我觉得并不太多。

史道特：撇开那些纯科学的兴趣，像星星为什么会发亮，地球和空气是怎么回事之类的不谈，你认为科学会不会影响人们的宗教信仰，使他们的信仰动摇？你能不能一方面是个科学家，知道所有这些你知道的事，同时又是一个以传统的观点来看，信仰很虔诚的人？

费曼：我只能谈我自己，我个人是无法兼顾的。我的意思是说，从我接受的这些科学训练来看，我没有办法做个很传统的信仰虔诚的人。这是两种无法调和的情况。对我而言，那些传统宗教信仰的想法，就是圣经之类的典籍所提的，内容实在太贫乏、太有限了。他们无法了解这个世界多么宽广，而演化的时间又多么漫长。在宽广的宇宙和长久的演化过程里，发生了这么多的事。一般的宗教却只强调人，对宇宙的其他部分鲜少着墨。但是对我来说，根本不可能在人的身上花这么多的精神，对宇宙的其他部分完全放着不管。我不相信在这么奇妙、不可思议的宇宙里，经过这么长久时间的演化，有这么浩瀚的空间，这么多不同种类的动物、植物，这么多不同的原子和星球的运行，所有这些都只是上帝建造的一个舞台，只是为了观察其中一种叫作“人”的生物，在里面与善恶挣扎缠斗。这是大部分宗教的想法。为这么一场戏，这个舞台未免太大了。因此，我不认为这是个正确的图像。

史道特：这是你在从事科学研究工作，成熟之后得到的结论吗？

费曼：我不知道自己什么时候才成熟，是15岁或16岁。但我大约在那个时期就放弃了宗教信仰……

史道特：你是在理性的基础上，改变心意的吗？

费曼：应该是的，我不知道当时有多理性，但绝不冲动。从此我改变了自己的想法。

史道特：我的意思是说，你是根据自己的推论，而不是受到别人的影响？

费曼：是的。

史道特：是根据你所学习、接受而且相信的事？

费曼：对的。而且不仅如此，学科学的人还有另一种特质，使他们和别的不同的人很难相处。这些我不是听来的，而是亲身的经历；也不只是由于我们在观察这个世界的时候，使用的观点和宗教人士的观点不同。宗教对这个世界的理论是，上帝创造了这世界，而且神爱世人；世人若有需求，可以呼喊主名祷告，等等。这幅图像和我们所见的完全不同。这只是其中之一，另外还有一件事。当你在观察科学发展的时候，有一件非常重要的事是所有重大发展所必需的，那就是：你不知道某些事的答案，所以才去研究相关的细节。你问自己很多和这件事有关的问题。你说，你对这些问题不能确定。

我们在科学里经常是不确定的，我们就是不知道；但我们学得愈多，就愈来愈有把握说，某件事愈来愈可能是真实的，或者某种想法愈来愈可能是错误的。但是你很难从上帝的理论得到类似的启发。譬如，你对自己说“我认为这很可能是真的”；但这也许只是你认为应该采取的一种观点，或者你发现这种观点在处理事情上是有用的，你可不会管这观点究竟正不正确。我暂且搁下我对上帝有很大的偏见，我这么说吧，一旦科学研究工作达到了某个阶段，若是我也这么说：“好啦，这是一个很有趣的理论，我想它非常可能是真的，我们不用再深究了。感谢主的恩典！”这可就累了，那科学就很难再进步了。

史道特：科学没有教条吗？

费曼：你无法接受什么绝对的东西，你就是不能确定。一旦你有了这种感觉，宗教对你就失去启发的力量了。现在的社会有很多问题，因此宗教有很大的帮助——教人要做好事，提醒人节制自己的欲望，因为欲望是很难满足的。而每个人在走出教堂的时候，总是比进去的时候变得稍微好一些。

史道特：一种向善的力量？

费曼：一种向善的启示力量。现在我们的问题是，如何不依赖这种形而上学理论的力量，不必相信这些神迹似的想法，例如耶稣从坟墓中复活过来，等等，还能维持这股向善的力量。要过个好基督徒的生活，帮助你的邻居，己所欲、施于人，难道非要相信耶稣死而复活之类的怪力乱神的想法才行吗？依照传统的宗教想法，答案是肯定的。但我认为这对于受过良好科学训练的人来说，是一件相当困难的事。难怪宗教家说我们这些科学家是"世智聪辩，增益邪心"。因为我们没有办法从世俗所谓的神的教导上得到启发。这里面有很多所谓的迷信或异端邪说存在。

史道特：你在前面提过，大部分的科学家主要的兴趣并不是社会上的人际关系，不是那种很多人共同生活在一起时，应该注意的关系。

费曼：以科学家的身份与立场是这样。但以人的立场来说……

史道特：以人的立场而言，他们还是重视的。

费曼：是的。

史道特：因此，即使是科学家，他从科学的角度，不接受传统的宗教观念，他仍然可以是个正派的好人，爱太太，爱孩子，乐于助人。

费曼：那当然。在耶稣的道德教诲里，没有什么东西，以科学的观点来看是不可信的。我从遥远的恒星学到的东西，没有一件能告诉我“金律”不是真的，或者我应该要杀生不杀生。科学和这件事一点关系也没有。但是那些发展宗教的人，把一些杂七杂八的东西放了进去：除了伦理道德的诉求之外，他们还放进一些杂七杂八的东西。信徒不只要相信道德金律，还必须相信耶稣的神迹。我不认为这些神迹是真实的，但我仍然认为这位伟大哲人的教导值得注意与学习。科学并不会让一个人变得不道德，科学只是不认同宗教对我们的宇宙所持的形而上学观念，例如宇宙是怎么来的，宇宙创生的时间有多久，处女生子这件事可不可能……为什么我们一定要知道这些杂七杂八的东西，还必须相信呢？

史道特：当然，大部分的人并不是科学家。这些人会不会觉得科学动摇了他们宗教信仰的基础？那些不够聪明，无法决定自己该信什么或不该信什么的人，是不是干脆只好放弃，不理会这些争议？

费曼：因为宗教把两件不相干的事绑在一起了。举个例子来说吧，他们教信众十诫，但是他们并不满足于只教导十诫的内容，只把它说成是人类的经验，是待人处世的好方式。他们教导十诫，是因为它是耶和华以闪电刻在石头上赐给摩西的。因此，当科学介入的时候，大概会认定：这十诫不可能是由闪电刻在石头上交给摩西的。一个思想很单纯的人，听了科学家的说法之后，可能会觉得，“原来整件事都是虚构的。但我不敢质疑这个神迹，否则十诫就失去任何宗教基础了。”然而，情况不一定非要这样不可。其实这种道德诉求，可以是凡人提出来的，一点问题也没有。摩西可以是凡人，仍旧可以写出同样棒的东西来。我还是会相信，还是会遵守。可惜宗教硬是把两种性质不同的想法混合起来，彻底焊在一起，说十诫的源头是上帝用闪电显示的，是你们必须遵守的信仰。因此当科学介入，挑战其中的某一部分时，例如十诫是怎么来的，信徒就觉得很紧张，好像道德金律的那部分也同时受到挑战似

的。但其实是宗教硬把两种不同的想法，不必要地联结在一起，两种想法之间并没有实质的必然关系。这是我的感觉，是我自己对宗教与科学之间的关系的一种想法。我是有点极端的。我希望你能了解，并不是所有的科学家都抱持我这种想法。当然啦，当我们走出自己的专业领域之后，我们往往不知道自己在说什么。对于宗教这件事，我的想法也可能完全是错的。但是你问到我个人的想法，这就是我个人的想法。

史道特：我认为有些科学家也是很虔诚的信徒。你的研究领域里，或你的同事，应该也找得到这种人。

费曼：那是当然的。

史道特：那他们又怎么把两种不同的观念，调和起来呢？

费曼：他们一定想到了某种调和的方法。但究竟怎么做，我并不知道。他们一定找到了什么方法，只是我找不到。我眼中的世界和别人不同。

史道特：在我们今天的访谈里，有一点欧文·萧（Irwin Shaw，1913～1984）文章的调子。他曾经写道："我有一种信仰，想把天堂从云端拿下来，放在地上，让我们所有的人一起分享。"或许也带有著名的纽曼（John Henry Newman，1801～1890）牧师笔下的："在黑暗中，放出慈悲的光环引导我，带领我前进，看顾我的脚步，我不需要看多远，一次一步就够了。"

附录二　失礼的引力

※本文是《纽约前锋论坛报》1961年2月5日刊登的一篇报道，作者是该报的科学编辑乌贝尔（Earl Ubell）。费曼曾写信向他致意。

上星期在纽约客大饭店的德雷斯厅，挤进了数百位物理学家听演讲，不仅座无虚席，连走道都站满了人。扩音器嗡嗡作响，忽然有个喇叭从天花板的架子上掉下来，摔得变形，还差点砸到人，却没有引起太大的骚动。

满厅的听众心无旁骛地连听4场广义相对论的演讲。广义相对论这个用来描述引力的理论，曾是人类心智的荣耀，如今却也是个苦恼。这些物理学家跟随着演讲者急切的数学节奏，不时发出笑声。对他们当中大部分的人来说，物理是很有趣的。

当喇叭掉下来、几乎打到人的时候，演讲中的加州理工学院教授费曼博士，正好讲到重力，而且刚提到17世纪的科学家对重力的认知。费曼博士马上举例说："你们看，这种超距作用（action at distance）！"

或许这个幽默来得太突兀。当时费曼博士正试图用银幕上写得满满的方程式，猛烈进攻目标，颇有勇者无惧的味道。这是个老题目了，而他现在尝试用一种新思路来诠释。

相对论很容易理解？

物理学真是浩瀚宏伟！这种感受席卷了全场的听众。他们聆听了雪城大学的柏格曼（Peter Bergman）教授讲解他们的团队如何着手研究引力理论；也听到普林斯顿大学的惠勒博士建构出一个不可思议的空间几何；还听到康奈尔大学勾德（Thomas Gold，1920～）博士所描述的宇宙——在这个宇宙里，物质（或原子）是从虚无中喷涌出来的。所有这4场演说，都与相对论及引力有关。

事实上，如果一个人不过分执着于常识的话，相对论的主要观念是很容易理解的。爱因斯坦提出这个理论的时候，他是把整个理论架构建立在一个很简单的基础上。整个观念可以用“想象一个人在电梯里的情况”来表示。

当电梯开始上升，由于加速度的关系，电梯里的人会觉得被压向了地板或举向空中。有趣的是，电梯里的人无法分辨他被压向地板的原因，究竟是电梯的移动，还是受到电梯下方大质量物体的重力吸引？由加速度产生的力，事实上与重力是等效的。

由这个观念出发，爱因斯坦建立了一组数学式来描述我们这个宇宙。由这些式子，我们进一步发现，大质量物体附近的空间是弯曲的。在这种空间里的几何，直线就由适当的曲线取代了。而且更奇怪的是，引力的观念居然消失了。物体之所以会彼此朝对方移动，是因为在爱因斯坦的几何里，空间是弯曲的，物体只是沿着弯曲的空间移动而已。

美好的大一统愿景

这个广义相对论相当棒，解释了很多宇宙现象，包括：光线通过质量很大的星体附近时会弯曲；水星轨道为何会偏离牛顿定律所预测的位置；为什么遥远恒星或星系发出来的光，会朝光谱上较低频率的红光偏移；以及勾德博士所提到的物质不断创生。

但现在，物理学家想要把广义相对论沿用到物理学其他领域，让它和其他的物理理论调和一致。其中的一种方式是，企图写出一组方程式，可以描述整个宇宙各种尺度的所有现象——小至极微的原子，大到极巨的星团。

这是爱因斯坦晚年的主要工作。他和学生至少做出十几种这类“统一理论”（Unified Theories）的模型。但这些模型全都失败，没有一个

能符合大家的期望。

惠勒博士也是全力发展这种统一理论的科学家。他提出新颖的几何结构，既可描述太阳也可描述原子。这种几何结构描述的一种空间，里面布满了“虫洞”。这种虫洞非常小，纸上的一个破折号，就排得下10^{60}个这种虫洞。没有人知道，这算不算是一种统一理论。

另一种做法就是费曼和柏格曼所尝试的，走两条不同的路径来做双重确认。他们试图把广义相对论和量子力学的理论融合在一起。量子力学已可用来描述原子、电子、质子以及其他微小粒子的行为。

同志仍须努力

描述原子行为的量子力学，也是一种违反常识的理论。它的基本观念是，原子以离散的一个个叫“量子”的能量小包来传递能量。你不可能有半个量子，要么是整数个量子，要么就完全没有。

这种观念导致一些很奇怪的效应，例如：若是你很努力想确定一个电子的位置，那么你就不可能知道它的速率和运动方向；如果你追踪一个电子，知道它的速率和运动方向，就没有办法确定它的位置。

费曼和柏格曼自问：引力理论能以量子理论的方式来处理吗？物体之间，能不能以引力的量子来传递引力作用？真的存在这种引力的量子即引力子（graviton）吗？

研究了广义相对论之后，柏格曼博士设法把它“量子化”，变成一种量子形式。这个做法虽然有些进展，但结果还是相当粗糙。

费曼博士则采取另一种方式来进行。由于本身是量子力学专家，他先假设引力子存在，然后以量子力学的步骤，把广义相对论压缩，再用它来处理引力子。

这些殊途同归的努力，最后会有什么结果？

也许，真的由某人给弄出统一理论来。也许，物理学家终于学会了怎么把引力和量子力学融合在一起。也许，秉持“不入虎穴，焉得虎子”的信念，物理学家终会有意外的惊喜。

附录三　物理学的未来

※此文费曼于1961～1962年发表于麻省理工学院《科技评论》（Technology Review）杂志。

听了寇克饶夫教授、佩尔斯教授和杨振宁教授的意见之后，我几乎同意他们说的绝大部分意见。只有杨振宁教授的一小部分观点，认为事情会愈来愈困难，这点我不太同意。我仍然很有勇气。我认为任何一个时代，都有自身的难题。但另一方面，诚如各位所见，我也有较为悲观的一面。我认为自己不可能在别的演讲者所说的论点上，再添加任何有意义的观点。但为了让整个议程能够继续进行下去，我必须说一些没有那么有意义的事。因此，如果各位能同意的话，我准备说一些和他们所说的完全不同的事。

●中文版注：

寇克饶夫（John Douglas Cockcroft，1897～1967）是英国核物理学家，世界第一座质子加速器的设计者，1951年诺贝尔物理学奖得主。佩尔斯（Rudolph Ernst Peierls，1907～1995）出生于德国、第二次世界大战期间入籍英国的理论物理学家，率先计算出铀235连锁反应的威力，后来也参与了美国洛斯阿拉莫斯的曼哈顿原子弹工程。

首先，为了让谈话的主题不会那么天马行空，漫无边际，我准备给自己一些严格的限制，只谈那种与基本物理定律的发现有关的问题，也就是物理研究的最前线。如果不是这种第一线的问题，而是第二线的物理问题，例如固态物理或应用物理，那我的演讲内容将大为不同。因此，请大家先接受这个讨论的限制。

我认为你们在看历史的时候，会以较为宽广的角度，去猜测自己领域的未来会是什么情形。另外我觉得，在预测物理的未来时，应该同时考虑物理学所存在的政治与社会环境的脉络。如果你要像佩尔斯教授所

做的那样，预测四分之一世纪之后的物理发展，请记得你预测的只是1984年的物理情况。

其他演讲者为了安全起见，不敢预测得太远，只预测了10年或25年后的情形。但其实这也不太保险，因为有人就是会记住他们所做的预测，活到了那个时候，就抓住他们的错误了。所以我要稳稳当当地，不让人抓到小辫子——我要预测的是千年之后的情况。

我们该如何进行这种预测呢？依据其他演讲者的做法，我们应该比较一下公元961年的物理情况和今年（1961年）的物理情况，然后推论千年之后，也就是2961年，情况会如何。公元961年，大约是波斯诗人兼天文学家珈音出生之前一个世纪，珈音打开了同一扇门又走了出来。镜头拉到今天的物理学盛况，一千年来我们已打开了一扇又一扇门，进入一个又一个房间，找到了很多珍宝。但我们若再往前看，显然还有五六扇门没有打开，而每扇门后的房间里，或许还有更大的珍宝也说不定。

这是个英雄时代，基础物理有非常显著的发展，也发现了许多基本定律，人人都非常兴奋。把它和公元961年比较，也许不太公平：应该和另一个英雄时代相比才对，或许是公元前3世纪那个时代。当时有阿基米德、亚里士多德这些人，也是个物理学蓬勃发展的时代。把那个时代加1000年，你可以知道当时能预测的物理千年未来是什么情况，就是公元751年左右的情形。因此，未来的物理和一千年里人们所处的大环境有密切的关系，并不是把现在的发展速率，做简单的外推就可以知道的。我若要推测千年之后的情况，首先就会碰到一个困难，就是人类的文明会存在或延续到那个时候吗？

未来之一：全球浩劫后的物理学

如果从政治和社会的观点来看，很可能发生一场可怕的毁灭性战

争，核子冬天出现，整个人类文明崩溃。在这种战祸之后，物理学会是什么情况？会恢复过来吗？我猜物理学，尤其是基础物理，很可能受到彻底的破坏而无法复原。接下来，我要稍微说明一下，为什么我认为这部分将无法复原。

首先，大战之后，北半球很可能受到严重的破坏。因此那些研究高能物理所需要的设施很可能无法幸免。没有这些设施，高能物理的研究几乎是不可能的。假设仪器设备很幸运地躲过一劫，但或许已没有足够的电力可用，或者维修和运转这些设施所需要的工艺水平不存在了，或至少短期内不再有这种技术支持。由于实验物理技术是工业技术当中顶尖的精粹，只要有一环衔接不上，就无法支撑。因此，至少短期之内不可能恢复到目前的水平。

那么物理水平在稍微下降之后，会不会再回来呢？我看很难。因为一个令人兴奋、向往的英雄时代，需要有一连串的成功事件堆积起来。你去看看那些不同文明里的伟大时代，当时的人对于成功，都有一种充分的信心，他们会做一些和以往不同的事，而且是靠自己发展出来的事。如果退回较低的物理水平，你会发现，好一阵子都不可能有什么成功的经验和感觉。你做的实验是前人做过的，你研究的理论，祖先早就知道了，那有什么搞头？因此，一定会引来不少装腔作势的人提出七嘴八舌的批评。物理学要有所进展，必须先建立适合它发展的文明环境，才能有所作为。其实很多领域都会出现这种好批评别人的文人病，而不肯好好地埋头苦干。

物理学算是一种很难迅速恢复的科技。当时会有很多更实质的问题，需要一些比较聪明的人去解决。而且困难在于，那时做物理研究不会有什么趣味，因为一时之间很不容易有什么新发现，而且基础物理研究又没有什么实际的用途。我们在高能物理所得到的实验结果，就算是在今天也提不出什么实际的用途，遑论大战之后就是百废待兴的社会

了。最后，中止物理学发展的，可能是那场可怕的灾难本身。如果那场巨变是人为的，那么人们一定会激起一股反科学的思潮，会归罪于科学和科学家，尤其是物理学家，说他们是罪魁祸首。

别太泄气，因为我谈的是一千年，也许时间长到再酝酿出另一次文艺复兴。到时候会出现什么机制，缔造什么辉煌成果，是很难说的。（我事先已经表示过，不会谈什么有意义的事情。但是也不能在这里大放厥词。）当然，新的文艺复兴一定会在某些地方有很成功的发展，这些成功发展的领域又会在哪里？很可能不是物理学，而是其他领域。那么后代子孙会觉得自己在那些领域的发展是“超越古人”的，因而产生了成功的信心。只有在信心充足之后，他们才会把热情投注在物理学上。这时候的物理学或许会有新的面貌——也许是些不同的观点，或甚至是完全不同的事情。我没有办法猜测。

另一种比较有趣的可能性，是这种文艺复兴的发生，可能只在某些国家或人群当中。而这些人可能发现到，可以把科学态度当成一种类似于道德的规范应用在社会、政府组织及商业行为等各个领域。你们大概了解我的意思：当有人说出某件事，大家会就事论事，而不是去猜测他们说这些话背后的动机是什么。举例来说，自我宣传就属于一种不太诚实的事。如果某些人的说辞里，并没有什么理念在里面，只是自吹自擂，表示自己多伟大、多能干，那是没有人会理睬的。若是这种科学态度能使得一个国家在某方面得到成功的果实，就会鼓舞整个社会在其他方面继续发扬光大这种科学态度，也会重新燃起对科学研究活动的兴趣。

未来之二：太平时代的物理学

接下来，我要讲另一种前提下的看法。假设没有任何大灾难，人类的文明也没有崩溃。怎么可以做到这点，我并不知道，但我们假设人类就是办到了，那么又会如何？我们就假设有一个类似目前的社会体系，

持续维系了一千年。（很可笑吧！）那么基础物理会有什么变化，基本问题和物理定律的研究又会怎样？

有个可能性就是出现了最终的答案。杨振宁教授认为物理定律本身已经把这种可能性否决掉了。但我并不以为然。就像你从一扇门进入一栋建筑物，想走到另一端去；但你还没有走到另一端，还没找到另一端的门，就有人跟你说：“你看，我们走了这么久，还没有走到另一端，还找不到另一扇门。因此，这个房间的另一端是没有门的。”只要你找不到那扇门，这种争论永远存在。对我而言，我们是走进了一栋房子，但我们无从知道它是不是一栋无限大的房子，还是有限大的房子。因此，最终的答案是可能存在的。

我所指的最终答案是这样的：我们发现了一组基本定律，因此，所有实验的结果都是在重复证实这组已知的定律。研究工作就愈来愈无聊了，因为大家渐渐发现，不可能发现什么新东西是违反这组基本定律的。当然，从此以后，大家就把注意力转移到第二线的工作，那是我这回不打算讨论的。总之，最终答案是，所有的基本问题都已经解决了。

我们总是可以对这些人说：“你根据我们已经发现的事实，去解释世界为什么是今天这副模样，说法相当高明。但你能不能告诉我，它明天会是什么模样？”由于这些人绝对做不出像样的预测来，我们就知道，他们所讲的道理并非出自于对现实世界的透彻了解。但如果最终答案就在那里，还有谁愿意去证明这个世界是四维的？由于这样和那样的原因，事情就是这样子了。我们的科学哲学目前之所以活蹦乱跳的，是因为我们还在困惑中挣扎：一旦我们有了最终答案，科学哲学就会一片死寂，再也抵挡不住蛋头哲学家的入侵了。

物理学的未来还有没有其他可能性呢？会不会我们进入的房间，真如杨振宁教授所说的有无穷大，那么我们就会不断有非常令人刺激的发现了。我们会急切地在屋里穿来穿去——打开一扇又一扇的门，发现一

处又一处的宝物。一千年呢！如果每20年有一个重大发现，一千年会有50个重大发现！我们的世界经得起这么多次基础物理观念的大革命吗？如果真的是这样的话，那还有些无聊呢。因为每当你更深入观测的时候，事情就会改变；有20次物理基本观念的改变，就表示大家会重复做20遍同样的观测。但我不相信这么活跃的研究可以撑一千年。好吧，如果它永不停止（我的意思是，如果你永远找不到最终答案的话），而我还是不相信大家撑得过50次物理观念的革命，那还有其他搞头吗？

还有另一种可能性，就是事情的进展愈来愈慢，问题变得愈来愈困难，那么到时候又是什么情况呢？强耦合已经分析过了，弱耦合已部分分析过了，但还有更弱的耦合更难分析。由于截面实在太小了，要想得到有用的实验资讯，变得非常困难。因此，实验数据的产出愈来愈慢，问题愈来愈难，发现什么东西的机会变得愈来愈小；愈来愈多的人觉得做研究实在没有什么意思。最后，整个领域处在一种停滞状态，只有前沿的少数几件工作还有蜗牛步调般的进展，譬如三阶张量场，它的耦合常数可能不到引力常数的10^{-30}？

当然，到那个时候，我们现在叫物理学的东西，可能囊括许多和现在不一样的内容。我相信，正如佩尔斯教授所说的，物理学的范围会扩张，涵盖天文史的研究和宇宙学。物理定律仍像我们现在熟悉的形式，但是会把这些东西纳进来。若给了现在已知的条件，将来会变成什么样子？将来的定律会是一些包含时间项在内的微分方程。但问题是：什么决定了现在的条件？什么是整个宇宙发展的历程？或许有那么一天，这种看法和问题会成为物理学的一部分。它可能不再叫作天文史，因为到时候，很可能物理定律已经把时间的变化考虑在内。如果物理定律会随着绝对时间而变化，那么表述定律和发现历史这两件事将没有办法区分。

最后，我必须再次提醒大家，我的谈话只限于基础物理的未来。我

认为，将研究重心从理论前线拉回到应用，把物理定律的结果发展成可用的科技，也是非常重要的。这将是非常刺激的工作。如果我要谈这部分物理的未来，将和我对基础物理未来的看法大不相同。

我们正处在史无前例的英雄时代，既美妙又兴奋刺激。但我们应该以戒慎戒惧的态度，去看待即将来临的时代。一旦基本定律都发现了之后，那个时代的人该如何自处？如何再走下去？我们不可能发现美洲两次，只好嫉妒哥伦布了。你们可能说，没错，历史不会重演，但基本定律并不是美洲大陆，而且太空中还有很多别的行星可以去探险！这倒是真的。除了基础物理之外，可研究的领域还多着呢。

我现在做个总结。我相信，基础物理的研究寿命是有限的。当然，我们还有好长一阵子可忙的。目前，这个研究领域还非常刺激，令人非常兴奋，我完全不打算离开这个领域。我正好处在这个时代，当然要善用这种优势，但我不认为这种优势可以持续千年之久。

最后在结束之前，我要强调两点。我并没有谈到应用物理或其他别的领域。如果谈的是这些东西，我讲的内容当然也不一样。其次，在这个变化如此快速的时代，我预测的千年后的事，可能在百年内就发生了。

谢谢大家。

附录四　《加州科技》杂志号外：费曼博士荣获诺贝尔奖

※加州理工学院学生联合会印行，1965年10月22日，星期五

[1965年10月21日上午9点]

费曼教授：

皇家科学院今天决定，由阁下和朝永振一郎、施温格三人共同获得1965年的诺贝尔物理学奖。你们在量子电动力学的基础研究以及对基本粒子物理的成果有目共睹。奖金将由你们三位平分。献上诚挚的祝贺。正式的获奖通知将随后寄上。

执行秘书伦伯格（Erik Rundberg）

伦伯格：

很高兴接到你的贺电！

理查德·费曼

[1965年10月21日凌晨3点45分]

“哈罗！是费曼博士吗？恭喜你得诺贝尔奖。”

“搞什么！这是半夜哪！”

“难道你不想听到自己得奖的消息吗？”

“我在天亮之后自然会知道。”

“好吧。现在你既然知道自己得诺贝尔奖了，觉得怎么样？”

“不怎么样！我不想现在谈……”

这就是理查德·费曼博士、国家科学院院士，也是加州理工学院理论物理“托尔曼讲座”教授，在睡梦中首次听到自己得1965年诺贝尔物理学奖的情形。

接着，到第二天（昨天）上午，消息愈来愈明朗，他也开始愈来愈兴奋。他也知道了施温格和朝永振一郎与自己同时获奖，12月10日将会亲赴瑞典斯德哥尔摩领奖。他们三个人得奖的原因，是在1947～1949年间，分别独立对量子电动力学所做的理论研究成果。

虽然三个人对这个领域的贡献相当，费曼却是率先提出“费曼图”的人。这是一个强而有力的工具，可以简化量子电动力学的计算。费曼自己解释说：

“我在1949年发表论文，介绍这种简化计算的方法，目的是为了进行更多的量子电动力学计算。我当时并不认为自己解决了什么实际问题，只不过做出一种更有效率的计算方法而已。但后来事情的发展演变成，如果这个方法所增进的效率够高的话，方法本身就是一种有实用价值的发现。这是一种快很多的方法，用来对付老问题。”

这个“老问题”，后来费曼在雅典娜馆10点30分的记者招待会中解释，就是狄拉克于1929年提出来的一组方程式的求解。以前利用二阶逼近，企图求出更精确的解的时候，会得到无限大的解。而这三位诺贝尔奖得主所做的事，根据费曼的说法，就是“摆脱计算结果出现无限大的解的困扰。无限大的问题仍然存在，只是它们现在闪到一旁去，不再挡在路上而已……我们设计出一套方法，把它们扫到地毯下。”

稍后在当天上午，费曼又出席了另一场记者招待会。费曼向记者说：“有一群媒体朋友跑来找我，说他们让别的事给耽搁了，来不及参加记者会。其中有个家伙跑到我的办公室来，说：‘我先告诉你，我会问你什么问题。因此当摄影开始之前，你有时间先准备一下。其中有一

个问题是，你的论文在计算机工业上有什么应用？’

“我说：‘这个问题的答案是，没什么用。’

“‘好，那么在别的方面呢？有没有什么用途？’

“‘目前可以说没有任何用途……’

“‘你是在说笑吧？’

“‘当然不是。’我知道这次访问，会在全国性的新闻频道播出。

“‘好，我还会请你评论一下这样的陈述：你的研究工作，就是把奇异粒子的实验数据转化成艰深的数学式。’

“‘抱歉，我无法做这种评论。’

“最后，‘好，你是什么时候知道自己得奖的？’

“‘好，就这样。现在可以开始摄影了！’”

当天下午，精力充沛的大学部学生，在苏洛普堂的圆顶屋檐上，挂起一幅横布条，写着“狂贺理查德·费曼得大奖”（Win Big, RF）。4点15分，在物理系布里吉厅的例行下午茶会上，费曼成为与会者的焦点。先是1936年诺贝尔物理学奖得主安德生（Carl D.Anderson，1905～1991）博士正式为大家报告这个好消息，接下来即请费曼致词。费曼的开场白是：“我觉得，诺贝尔奖委员会做了很聪明的选择。”全场叫好的喝彩声不绝于耳。

费曼还提到，有纽约的朋友打电话来，要他评论一下纽约的教育系统。他回答说：“我30年前受教育的时候，它的教育系统还可以啦。”

费曼也已经决定怎么花这笔诺贝尔奖的奖金。金额是5.5万美元的1/3。“我将用这笔钱来付我的所得税，大概可以撑3年左右，因此，我这3年的收入都是免税的。”

当天傍晚，《加州科技》杂志在费曼家中做专访。谈到他近来所做的研究工作时，费曼表示，他在引力场的量子理论方面“有一些进展，但还不算完美”。而他不久之前，已把研究焦点转移到原子核内强相互作用的法则上。

后来，费曼谈起打电话给朝永振一郎的情形：

“恭喜你！”

朝永振一郎回答：“也恭喜你了。”

“成为诺贝尔奖得主，有什么感觉呀？”

“我想你自己知道。”

“你能不能告诉我，怎么对外行人解释，你是怎么得到诺贝尔奖的？”

“我很困倦了。”

附录五　新数学的新教科书

※费曼发表此文于《工程与科学》期刊第28卷第6期，1965年3月号

去年，我身为加州课程审议委员会的成员之一，花了很多时间来挑选适合的数学课本，给加州的公立小学一到八年级的学生使用。

我仔细阅读了那些由出版社送来的、可能获得加州政府采用的教科书。（堆起来有6米高，重达250千克！）我在这里想以大家看得懂的方式，来描述或批评一下这些书，特别是数学内容，也就是我们想教给孩子的数学。我在这里不讨论一些相当重要的事，譬如这些书是否容易让老师完成教学目标，或是学生很容易阅读。评审之后获得州政府选用的许多教科书，也有我在后面要谈的缺点。这是因为，我们只能从出版社送审的书当中去做挑选；而送来的书当中，编写得真正好的，还真是不多。另外，委员会推荐了一些补充教材，本来可以稍微弥补课本的不足，也因为政府预算有限而无法采购，实在很可惜。

为什么小学的数学教学方式需要调整？我们首先要清楚了解这个问题，才能评断我们挑选出来的课本能不能符合需求。有很多人，例如杂货店的老板，每天都必须大量使用简单的算术。此外，有些人会用到比较高等的数学技巧，譬如工程师、科学家、统计学家、经济学家，以及商行（它们普遍都有很复杂的存货管理和税务问题）。再则是一些研究“应用数学”的人。最后就是为数很少的纯数学家。

当我们设计这些入门的数学训练时，不但要照顾到每个人每天都要用的简单算术，还要注意到那些迅速扩张的、使用较高级数学技巧的族群，这种数学训练的目的，是鼓励学生培养出适当的思考模式，使这群人日后仍然受用无穷。

许多数学课本用了很大的篇幅，来描述那些只有纯数学家才感兴趣的主题。不仅如此，多数主题也是以纯数学家的态度来处理的。这有两

个问题产生。首先，将来会成为纯数学家的小学生非常少。其次，纯数学家看待一个主题的方式，和一般的数学使用者有很大的不同。纯数学家是相当不注重实际用途的，他们通常对数学符号、字母或想法没什么兴趣，或者可说是刻意不理会。他们只对公理（axiom）之间的逻辑关联有兴趣。但这些符号、字母和想法却是把数学和真实世界连接在一起的东西，使用数学的人必须确实了解。因此，我们对于数学与应用了数学的事物之间的关系，必须非常注意，不像纯数学家可以完全不理会。

我听到很多人把这个改善数学教学的计划，称为“新数学”。当然，这是一个挑选数学教科书的新计划。但新数学会给人一种非常前卫的感觉，是不是真的合适，还有待商榷。那些用在工程与科学问题上的数学，不论是设计雷达天线系统、决定人造卫星的位置和轨道、工厂的存货管理、设计电机系统、做化学研究或是处理难解的理论物理模型，事实上用的都是旧数学，都是20世纪20年代以前发展出来的数学工具。

此外，很多非常先进领域的数学，都不是数学家独自发展出来的。以理论物理为例，有许多数学工具是理论物理学家和数学家共同合作发展成功的。其他领域也一样，那些使用数学的人，总是费尽心思，发展出更新的方式或更适当的形式来使用。近些年来（就说是20年代以后吧），纯数学家已偏离应用很远了，只专注于数和线的基本定义，以及各个不同数学分支之间的逻辑关系。从20年代之后，数学在这方面有很大的进展，但在应用数学或有实际用途的数学上，发展就相对减缓了许多。

有了问题，接下来该怎么办？

我认为我们应该努力找出新的数学课本和新的教学方式，使学生更容易了解那些用在工程、科学或其他领域的数学，并且学会怎么应用数学。基本上，就是让数学的学习变得更有趣，让学生养成正确的思考模式和态度，掌握到分析事理的精神。

这里，最主要的改变是必须移除老数学课本里那种僵化的思考方式，必须在解答问题的过程中，允许学生的心智可以自在活动、自由思考。如果以老方法来教育孩子，那么放入任何新单元到课本里来，都没什么实际的用处。若要很成功地使用数学，必须有正确的心态。要知道，任何问题都有许多方式可以解决，任何事务也都是一样的。

对于某个确定的问题，你需要有个答案。问题是：要怎样得到这个答案？那些能成功运用数学的人，一碰到问题的时候，总是会尝试各种新方法去得到答案。就算有些时候，已经存在某些求出答案的方法，他还是愿意以自己的方式去寻求答案。不管是新方法或老方法，重要的是针对问题，找出能得到正确答案的方法。他问自己的问题并不是：“什么是解决这个问题的正确方法？”他需要问的，是答案正不正确。

这就像刑事案的侦查，搜寻到犯罪现场的若干线索之后，首先会假设嫌疑犯大约是什么样子，再看看哪些人最符合这些线索，最可能是嫌疑犯。当侦查人员最后找到真正的罪犯时，应该会发现所有的线索都是吻合的。

黑猫白猫，能抓到老鼠的就是好猫

要获得一个问题的答案，什么是最好的方法？答案是：任何能得到正确答案的方法，都是最好的方法。因此，我们要的数学课本，并不是只教学生一种可以解答所有问题的绝招，而是教他们，问题是什么，然后让学生有比较大的自由度去寻找答案。但是，正确的答案当然只有一个，不能任意选择。也就是说，有很多方式可以计算出15+17的答案（或者可说成17+15），但正确的答案只有一个。

以往的数学教育，都只教学生一种标准的算术问题解法，并没有教学生自由思考。事实上，一个问题可以有好多种写法，思考问题也有许多可能的方式，解决问题也有许多可行的办法。

这种“没有标准解法，只有正确答案”的想法，不只是数学使用者的心态，其实也是创造力十足的纯数学家的心态。虽然纯数学家写的论文，只是展示他完成了某种逻辑推理，证明了某个结论是正确的，里面并没有写出他原先怎么去做猜测，或动手之前思考过哪些可能的证明途径；但是，要完成证明，他也需要同样的灵活心思，不愿墨守成规。

我并不是纯数学家，为了找一个例子来证实我的观点，我特地从书架上找出一本纯数学家写的书。这本书叫《代数结构下的实数系统》，作者是岁伯茨（J.B.Roberts）。我在书里很快就找到一段能够佐证的话：“数学思考的方式是推测与验证，没有固定的步骤可以遵循。我们试试这个，试试那个，猜猜这个，猜猜那个，设法把得到的结果推而广之，使证明容易些。我们试一些特例，看看会不会灵光一闪，得到启示或直觉。最后，就得到证明了。谁晓得是怎么回事！”

因此，你们看到所谓的数学思考方式，不管是纯数学或应用数学，都是自由的、直觉式的。这也是我们希望在孩子刚学习数学的阶段，介绍给他们的东西。我们相信，这不但是一种比较好的数学训练方式，也可以让学生觉得数学是很有趣的东西，学起来很容易。

为了让我们的讨论不要那么抽象，我可以给大家一个具体的范例。我从现在小学一年级和二年级的课本里，举些例子来说明。我们就以加法为例。

假设小孩子都学过怎么样数东西，因此经过一阵子的练习之后，就很会数东西。现在，我们想要教小朋友加法。假设有个小朋友很会数数字，可以数到50或100。他能不能马上解决17+15=32这类问题呢？假设班上有17个男孩和15个女孩，那么班上一共有多少个孩子？这种问题不必以很抽象的加法形式来呈现，只要简单地数一数男孩的人数，再数一数女孩的人数，然后数一数全班同学的总人数就行了。最后，我们可以把结果归纳出来：17个男孩加15个女孩等于32个小孩。

这个方法可以用在任意两个整数的加法。但是如果待相加的数目很大，这方法就显得很慢、很麻烦。如果问题里有很多待相加的数字，那就更不方便了。另外有一个类似的方法，就是利用一组固定的数目，例如手指头的数目来协助计算。还有一个方法就是在头脑里心算，例如，经过一小段练习之后，小孩子可能自己学会6+3是多少，他会在心里数着7、8、9，答案是9。也有一种更实际的方法，就是死背一些数字的组合，例如3+6=9。如果这个组合经常出现的话，只要看一眼，不必算就知道答案。

计算很大的数目，例如有多少枚硬币，你可以把它简化，一组一组地计算，而不必一枚一枚去计算。你可以把5元硬币两两叠在一起，把10枚1元硬币也叠成一堆一堆的，如此每一堆都是10元，再看看有多少堆，最后加上剩下来的不成堆的硬币有多少枚，就是答案了。这种计算方式，比起把硬币的面额一枚一枚地加起来，容易得多。

另一种做加法的方法是利用一条直线，上面标着数字，或者利用一张类似月历的表，上面写着一连串的数字。当你要处理3+19这种问题时，你从19开始，往后数3个，就得到22。如果这些数字都用一个点来代表，等间距排成一列，就是所谓的“数线”了，这是以后了解分数和度量的重要工具。像直尺或温度计，只是沿着尺的边缘画上数线而已。因此把数字标在一条直线上，不但是学习加法的一种方法，也是了解其他数字形式的方法。

（顺便在这里提一下：在基础阶段还有一个特殊技巧，就是利用配对法，去决定哪个数字比较大，而不必真正去数。因为比较多的那一个，会有东西多余出来。这也是当初比较不同气体的分子数所用的方法。）

加法，古早的呆板做法

在老课本里，加法是以一成不变的方式来处理的，没有任何可以变换的技巧或把戏。首先，我们利用书上画的鸭子，学习简单的加法。5只鸭子和3只鸭子一起游泳，总共是8只鸭子，等等。这当然是一种令人满意的方法。接着，这些数目就被记住了，这也是可以接受的。最后，如果数目大于10，就必须用到完全不同的技巧了。在这种技巧里，首先解释比10大的数字要怎么写，接着介绍两位数字的加法规则。先不教进位，因为进位太复杂了，三年级才会介绍进位的技巧。

老教材令人不满意之处，并不是它们教加法的方法不好。这些方法都很好，都可接受。问题是，这些课本允许老师和学生使用的方法太少了，只允许一套标准做法。

举个例子，对老教材来说，29+3就不是正统的一、二年级的算术问题。他们不会在小学低年级教这题，因为这个年级的学生不了解进位技巧，没办法解答这题。但是，如果你真的了解加法的意义是什么，在学会了数数目之后不久，应该就能处理这个问题了。一年级的学生都行，只要连续数3个数目：30、31、32，就得到正确答案了。

当然，这个算法慢吞吞的。但是如果没有其他可用的方法，那么这个方法不失为一种有效的算法，应该允许使用。它应该是小朋友想象得到的方法。小朋友渐渐长大之后，自然会再学到其他更有效率的方法。其实，把3和6加起来，与把3和29加起来，没什么不同。当我们年纪变大之后，唯一不同的是，我们会使用更有效率的方法来解决问题。

千万不要限定标准解法

了解两个数字相加的意义之后，也就是相加的意义是什么以及如何相加，则上面所提的那两个问题（3+6与3+29）其实没有什么不同。因此，传统教科书所用的唯一标准方法是不对的。这个传统加法告诉学生：当数字很小的时候，背下来套用；当数字很大的时候，则把它们上

下对齐排好，一次加一行数字，而且不用担心会碰到进位问题。这种做法对于小学前两年的数学学习限制太多了。违反“没有标准解法，只有正确答案”的解题理念。

为了发展出孩子们日后需要的正确解题心态，我们应该给予他们很多不同的数学经验。加法并不一定非要某种标准形式不可。举例来说，17加15为什么非要把17和15上下排在一起，然后在底下画一条线，然后在线的下面写出32来？没有什么理由非这么做不可。另一种方式；17+□=32，留下一个待解答的空位，其实是相同的问题，只是提问的方式不同而已。我们应该让一年级的小朋友，学习找出某种方法来得到问题的答案。这类问题，在他长大做工程师的时候，都必须时时面对。我的意思并不是说，要他提早学习减法。我的意思是他必须了解，这只是老问题的另一种形式。这个问题是要以任何方法找出空格里的数字，但是当空格填上数字的时候，答案必须是正确的。

在工程或物理上，我们通常对于怎么得到空格里的数字是15，并不感兴趣。我们只要知道最后得到的这个15，放入空格之后，能使得17+15=32是正确的就行了。（只有当这种问题以前从来没有出现过，没人知道该怎么做的时候，我们才会对“15是怎么得到的”感兴趣。或者是这种问题似乎一再出现，我们需要发展出一套更有效的新技术来处理它，那我们对方法本身才会加以研究——也就是研究“15是怎么得来的”。）

因此，17+□=32这种问题，是应用数学最常碰到的形式。学生必须以任何可用的方法，找出一个可以填入空格的数字。使答案是正确的。这种训练在孩子很小的时候就应该开始，就算是一年级也无妨。让小孩子有一种自由，去尝试任何可以得到答案的方法。但是答案当然必须是正确的，你在最后，都应该检查你得到的结果是否正确。

让学生有思考的自由

我们应该给予学生思考的自由。我这里再举一个例子，它的情况更复杂些。假设有个未知数，它的两倍加3是9，那这个未知数是什么？这当然是代数问题，而且有很明确的规则可解答这一类的问题：你先把等号两边的数字减3，然后再除以2，就是答案。但是，世界上可以用明确的规则来求解的代数方程式，其实是很少见的。

另外一种方法是试着把不同的数字填入空格，直到找出正确的答案为止。这个方法在孩子还很小的时候，就应该教他。换句话说，问题应该要以不同的形式来呈现，而且应该允许孩子去猜测答案，允许他们以自己喜欢的方式去尝试，而不是只能以记住标准步骤的方式来解题。当然，孩子的解题尝试与学习经验逐渐增多之后，他们自然会记住那些加减乘除的明确规则，因为那样的解题效率比较高。

其实到了更高等的工程领域，当我们必须面对更复杂的代数方程式时，唯一可用的方法只有尝试代入不同的数字。这是一种非常强而有力的基本方法，但是学生往往在很迟的阶段才学到，甚至是当了工程师之后才知道。那些老式教学方式，就是每种问题只有一种标准解法，其实只能解决最简单的问题。然而更复杂的问题事实上并没有标准解法。解决复杂代数方程式最好的方法，就是尝试法（trial and error）。

另有一种含有很大自由度的练习，就是猜测规则。这类问题以后还会以更复杂的形式出现。我现在举一个很简单的例子，那也是工程和科学上的典型问题，就是：在1，4，7，10，13，……的数列里，产生数字的规则是什么？问题的答案可以有很多不同的求法：第一种是每个数字都是前一个数字加3，另一种是第n项的数字是3n+1。

数学教育的成败关键，在于让学生有各种各样的数学经验，而不是要学生对于所有问题都只能用一种受到严格限制的标准方法来处理。我再强调一次，我这不是在质疑教学技巧对不对，重点也不在于让老师日后更容易教算术（虽然就我所知，确实会这样）；而是我们会教给学生

一种有意义的新主题，一种面对数字和方程式的新态度。这种新态度是学生日后碰到数学应用问题时，可以成功求得解答的正确态度。

我所讲的，当然也不是“以新方法来教旧主题”这么简单。例如，我们建议在低年级就教一些不是十进制的数字系统。这除了可以显示数学世界的广阔和自由，也能帮助学生更深入认识算术进位规则背后的理由。如果多了这种教材，有些学生可能会很喜欢，多学到一些算术运算的道理。但一定也会有些反应较慢的学生，无法掌握不同的进位制，这时候教他们练习把一个数字由十进制变成五进制或十二进制是毫无意义的。教师反而应该让他们多做一些十进制的算术练习。也就是说，教师应该因材施教。

术语不等于知识

当我们考虑孩子们应该学会哪些用语和定义时，应该特别注意，不要只教孩子记下一些用语而已。我们教孩子某些术语时，可能只让孩子有一种知识的幻觉（这些名词听在一般人耳里，并不太自然），而没有教他们这些名词究竟代表什么意义或想法。老教科书就充满这类没有实质意义的名词——书里很仔细而精确地定义了纯数学家使用的艰涩名词，事实上，除了纯数学家之外，根本没有人用得着。

其次，我们叙述这些名词的文字和方式，应该尽量接近日常语言。或者至少所用文字的意义应该和一般口语的意义相同。最起码要和科学界或工程界使用的数学语言相同。

我们以几何学为例。在几何课里，必须学习很多新名词。例如，学生必须知道什么是三角形、正方形、圆、直线、角或曲线。但学生不应该只是学到这些名词，学生至少必须知道这些名词所代表的究竟是什么东西，或者什么概念。例如：不同几何形状的面积、某个图形和另一个图形之间有什么关系、如何度量角度、三角形的三个内角和可能是

180°、勾股定理可能是怎么回事、判别是不是全等三角形的规则有什么道理，等等。

至于哪些几何主题比较重要，应该列入课程内？这应由那些编课本的人来决定，他们比较有这方面的经验。我并不打算在这里建议，哪些东西应该包括进来，哪些不必。我想说的只是，如果编课本的人决定要把哪个几何主题包括进来，就应该把这个图形的适当知识都涵盖进来，而不要只有很空洞的名词和术语。

有些书用了很多篇幅去定义一些特殊的东西，例如：封闭曲线、开放曲线、封闭区域、开放区域等。但其实只教给学生：一条直线可以把平面分成两部分。在这些几何单元的最后，编者总会长篇大论地自吹自擂，说自己教了多少几何知识，或学生又多学了哪些东西。我常常觉得，这些课本教的新名词虽然很多，但学生学到的知识其实很少。这些课本是完全不合格的。

不仅如此，有些书使用的字眼非常怪异，都是纯数学家才会用的术语。我认为这完全不必要。学到这些新名词的学生，如果长大以后真的成为纯数学家，那么他和别的数学家讨论几何基本观念时，或许可以很容易沟通。但其实现在还不急着教小学生这些东西：学生长大以后，在适当的机会自然学得到这些新名词。很多家长反对新数学，其实只是因为在家里听到孩子说直线是一种曲线，觉得是学校把自己的孩子给教笨了。我们其实不必让家庭里出现这种学术辩论。

清晰的语言才重要

谈论新数学的时候，还有一种和语言有关的意见，就是对所谓“精确的（precise）语言”究竟价值何在。大家有过热烈的讨论。譬如，要不要仔细区分“数字”和“数值”的不同，或者符号和它所代表的实体的差异。

其实真正的问题不在于精确的语言；我们日常说话的方式可没有太精确。问题在于清晰的（clear）语言。要有清晰的语言才能和别人清楚沟通某个观念。只有当某个用字遣词，听的人对它认知不同而造成疑惑的时候，精确地描述才有必要；而且只需要针对有疑惑的地方再做一次精确的描述就够了。要把任何事情都叙述得绝对精确，根本是不可能的事；除非这件事是完全抽象的，和现实世界没有任何关联，也不代表任何实际的东西。

纯数学就是很抽象的东西，和现实世界没什么关联。因此，纯数学自有一套非常精确的语言来处理自己的专门主题。但如果你处理的是我们现实世界的事，这套所谓精确的语言就不再有什么意义了。除非有什么东西非要如此仔细区分不可，否则使用这种精确的语言，根本是牛头不对马嘴。

举例来说，有一本教科书很迂腐地指出，一个球的图像和球体本身是不一样的。我很怀疑，如果没有这样刻意强调，小孩子会笨到连这点都搞不清楚。那本书很别扭地强调“把球的图像涂上红色”，而我们一般只消说“把球涂上红色”就懂意思了。因此，故意强调这类所谓的精确，完全是不必要的。而且“把球的图像涂上红色”的说法，有时候反而会构成另一种困扰。因为一个球的图像，除了画出球体本身之外，还包括球的背景。我们是要把整张图画都涂成红色呢？还是只把画里的球涂成红色？“把球的图像涂成红色”这种所谓精确的说法，真是画蛇添足。

虽然上面这个例子似乎是小事一桩，但是这种强调精确叙述的毛病，确实是以往教科书的通病。我曾在一年级的课本里，发现这样的叙述：“检查棒棒糖集合里的个数，与女孩子集合里的个数是不是相同。”一件很简单的事，居然也可以讲得这样复杂，真是不可思议。

家长对这种文字叙述，一定会惊骇不已。这种叙述方式，难道真的比“看看棒棒糖够不够分给所有的女孩子”精确得多吗？我看未必。后面

这种说法，每个小孩子都能了解，父母也一样。放进原先那种绕口令式的文句，实在完全不必要。那种奇怪的说法只有一小撮纯数学家在使用而已。专业领域内的人用来讨论专业事务的术语，不应该放在小学课本里。一般人从这些专业语言里是学不到什么学问的。

我们要学会的是语言叙述所要表达的观念，而不是语言本身。等到真的有必要很细致去区分时，再学那种专门语言也不迟。现在这个时候，清晰的语言是最需要的。

我认为一年级到八年级课本里的问题陈述，都要让任何正常的大人看得懂。也就是说，它在问什么东西，应该是人人都要读得明白的。或许不是每个大人都解得出每一道题目，也许他们已经忘了自己学过的那些算术规则与技巧，或许他们也不知道1/3的1/4的2/3是多少；但至少应该知道这个问题问的是某些数字的乘积。

把专门语言放进小学课本里之后，一般家长（包含那些受过高等教育的工程师）会误以为孩子学习的是另外一种数学主题，他们可没办法帮助孩子了解课本到底在说些什么。而这种不了解，根本没有任何益处，放着很好用的日常语言不用，反倒去用那些冷门语言，到底是为了什么？是要卖弄学问吗？讲大白话大家都能了解，而且意思的表达相当清晰——通常比专业术语清晰多了。

每个主题都必须给出实例

我认为哪些主题该选入教科书，必须再做一番筛选。筛选的方式是：有没有日常生活的实例可以支撑这个主题？编书的人要把某个主题选入教科书，理由必须非常充分。这个主题的实用性，它和我们周遭世界的关联，对学生来说都必须很明确。

我就以“集合论”这个主题为例。几乎所有的教科书都有讨论集合的

章节，但集合论里的东西在其他章节却从来都用不上。而且也没有任何解释，说集合的观念到底有什么特殊意义或特别的用途。唯一的说法是：“集合是一种相当普遍的观念。”事实上，这个说法是对的。但集合的观念既然这么普遍，课本里必须仔细讨论，为什么完全没有用到呢？

集合是一个新名词，有新定义，可是课本从头到尾，都没有举出一件实例来说明。我姑且帮忙举个例子好了：有一位动物园管理员要他的助手把生病的蜥蜴从笼子里移出来。他命令助手：“把所有动物的集合与所有蜥蜴集合的交集，以及生病蜥蜴集合的交集，移出笼子外。”这是很精确的集合论语言，但意思只不过是：“把生病的蜥蜴移出笼子！”

现实生活中，当然有用到集合论的交集概念的地方。例如中国共产党党员，是中国人与共产党员的交集；东德难民营儿童，是东德难民营里的人与儿童的交集。但一般人是不会这样陈述事情的，而且，不这样陈述也不曾带来任何不便。即使身在科学圈、工程圈或其他专门领域里，我们也永远不会像动物园管理员那样陈述事情。

如果你喜欢，当然可以说：“答案是个小于9、大于6的整数。”但没必要说成：“答案是一个数的集合，而这个集合是大于6的整数集合与小于9的整数集合的交集。”

如果你仔细研究过小学数学课本，可能会很惊讶地发现，有些课本是用∪与∩这两个符号，来代表集合的并集与交集。但是这种集合符号几乎从未出现在数学以外的领域，不管是理论物理、工程、商业数学、电脑程序设计或其他使用数学的地方。我觉得在学校里，没有必要教这些东西，也没有必要做解释。它不是一种有用的表达方式，也不是一种简洁有力的表达方式。虽然它号称很精确，但我看不出精确的目的何在。

让“新”数学更有价值

在新数学里，我主张，首先，要让学生有思考的自由。其次，我们不要只教一堆不切实际的名词。最后，要介绍哪些主题，必须想清楚目的和理由，或说明怎么利用它去发现一些更有趣的东西。如果不是这样的内容，我认为就不值得要学生去学习。

附录六　两个寻找夸克的人

※本文是《纽约时报杂志》1967年10月8日的一篇报道，作者是艾德生（Lee Edson）。

费曼曾写信给杂志编辑，强调功劳应归给盖尔曼。

过去几年，全世界都在搜寻一种难以捉摸的猎物，叫夸克（quark）。这不是爱丽丝漫游的奇境，而是真真实实的世界。猎人都是世界顶尖的物理学家。猎场则是上穷碧落下黄泉，从大气层的高空到海底，乃至深入原子对撞机的内部。密歇根大学的一位研究人员甚至把牡蛎磨成粉来搜寻，理由是：牡蛎几乎什么东西都吃，有可能吃到夸克。

尽管如此煞费苦心地搜寻，但夸克就像卡罗尔（Lewis Carroll，1832～1898，著有《爱丽丝漫游奇境》《猎杀蛇鲨》）笔下的蛇鲨一样，还是杳无踪迹。这是有理由的，根据现代理论物理学的说法，如果夸克真是存在的话，它将是宇宙最简单的粒子，几乎所有的其他东西都是由夸克构成的。

就算找到这种令人难以置信的幽灵似的物质，夸克也不会让我们做出什么超级炸弹。我们从大自然发现到的崭新基本事实，能带来什么益处，完全和人类使用的方式有关，既可以用于战争，也可以用于和平。但对夸克而言，即使我们找到了，相信在数年之内也不会有什么明确的用途。不过对物理学家来说，发现夸克这件事，比发现任何自然科学在日常生活上的应用，还要崇高得多。从夸克，我们立刻可了解整个宇宙物质的基本结构，使失落的环节重新浮现。

一时瑜亮

在追寻夸克的队伍里，有两位加州理工学院的物理学家最受众人瞩目，就是盖尔曼和费曼。两人各自拥有一大把的荣耀。费曼由于诠释了

亚原子世界的某些奇妙机制，得到1965年的诺贝尔物理学奖。很多物理学家都认为，盖尔曼日后也会得诺贝尔奖（注：盖尔曼于1969年获奖）。有位加州的物理学家称这两人是“今日理论物理学界最炙手可热的人物”。是什么特质使这两人能在高能物理圈内散发出光和热呢？应该是过人的天赋加上灵活的心思。以夸克的搜寻为例，盖尔曼回忆说：“狄克和我探索了理论物理的某些方向。我们建构了一个新理论，大家都很兴奋，因此提出一些新名词要为这个新想法命名。后来物理界还冒出一些很疯狂的名词。这个新理论和三种一组的新粒子有关，有了正确的特征描述后，我们还必须给个名字。我首先想到的是司魁克（squeak）和司夸克（squark），后来就变成夸克（quark）。当这个名字脱口而出的时候，我们都很喜欢。出乎我意料，我发现在乔伊斯（James Joyce，1882～1941）的小说《芬尼根守灵夜》里，居然有‘三种夸克’的字眼。这个名字真是再恰当不过了。”

当然，盖尔曼可以拒绝使用夸克这个名字，而使用较常用、听起来较高档的，以“子”（-on）做结尾的字，就像电子（electron）、中子（neutron）。或者像另一位加州理工学院的物理学家褚威格（George Zweig）所建议的，用一、二、三的字尾来命名。褚威格在基本粒子特性的研究上，也得到类似的结论。但盖尔曼承认自己有点淘气，直接把“夸克”这名字给发表出来。他笑着说：“或许可以让斯诺在两种文化上搭座桥。”

盖尔曼和费曼号称他们是一起各自工作。这种合作方式在近代物理领域是很独特的。研究圈子向来以沉默内向著称，但他们都拥有某种魅力，能吸引众多学生和科学家到加州理工学院来，使得校园又恢复了奥本海默时代的盛况。他们两人所做的演讲，总是座无虚席，很多资深教授都会跑来听。费曼得到诺贝尔奖之后，有位大二的学生为了庆祝，居然把费曼的照片贴在《最后的晚餐》画中的耶稣头上。可见费曼在学生心目中的地位。

虽然他们两人的才智和影响力在伯仲之间、难分轩轾，但表现出来的方式却大不相同。费曼现年49岁，身材瘦长、满头黑发、精力充沛，正担心是不是会被拱进政治圈。他是天生的表演人才，肢体语言非常丰富，演说简洁有力，用词通常不加修饰。他说："我喜欢以不一样的方式来讲一个东西。"他的手势和声调，引人注目，而姿态优雅，不输舞台上的动人美女。

费曼对人们演说的时候，偶尔会利用声光效果，让整个舞台笼罩在彩虹般的光线里。"为什么要在小小的三棱镜里看彩虹？那对一般人太辛苦了。"他说："大自然太有趣了，不应该让它缩在小小的角落里。"但通常他是不需要这些道具的。他的演说素材实在相当可观，只要老老实实地表达出来（事实上，费曼每回演讲都是如此），热情总是能感动每一位听众。有位老同事表示："费曼的演讲我一定不会错过，因为绝对会有意外的收获。"

盖尔曼的风格虽然没有费曼这么耀眼，但自有一股不同的吸引力。他比费曼小11岁，圆圆的脸，戴个眼镜，乍看之下很像哪个开小杂货店的邻居。但是在教室里，他的讲课清晰流畅，非常迷人，透露出学识渊博的气度。而且他在小团体里，的确是非常杰出的。如果说费曼像个超级巨星，在大舞台上会发光发热，感染全场听众；盖尔曼就比较适合稍小的场合，例如和一群研究生做深入的对谈与讨论，双方有比较亲密的互动。就像奥本海默那样，盖尔曼喜欢和少数献身科学的追随者相处。他经常表示，在课堂上对学生授课，是最基本、最重要的教育方式。

尽管两人的个性有很大的差异，他们却合作得很不错。根据朋友们的描述，两人其实经常大声争辩，但吵过之后，各自都会得到一些灵感或启发，彼此对问题更加了解，工作马上得到快速的进展。

但这种合作关系差一点就被中断掉。几年前盖尔曼为了某些理由，曾认真考虑要离开费曼和加州理工学院，转到哈佛大学去。根据物理学

家圈子的八卦消息，哈佛几乎答应他所有的条件，只除了一项，就是把物理研究所改名为盖尔曼研究所，因此他最后没有离开。

从那次事件之后，两个人之间的关系就平顺多了。但私底下仍然免不了一番较劲。盖尔曼的太太玛格丽特就爆料说："狄克常常打电话来，问盖尔曼在做什么。如果我告诉他盖尔曼在花园里除草，他就会安心地在家休息。但如果我告诉他盖尔曼在书房里用功，狄克就神经紧张，立刻想追赶上来。"盖尔曼的太太是来自英国伯明翰的金发美女。

费曼在数年前娶了一位英国女孩（他的第三任妻子）之后，曾经打电话给盖尔曼，说："我仔细观察了一下，什么是你有而我还没有的。我发现你有个英国太太和一只黄金猎犬。因此，我也想办法把这两样弄到手。"

不过，这两个人有一个共同的特质，就是有一种非凡的本领，可以把物理弄得很清晰易懂、非常浪漫——就某种程度来说，物理学家的世界，的确有罗曼蒂克的味道。物理学家社群有一种接力关系：理论物理学家就像是潜力无穷的小男孩，跑第一棒；在他之后，就是实验物理学家、实验室的工作人员；再下来就是工程师和应用物理学家，譬如制造出声呐、火箭和氢弹的人。

追踪粒子的轨迹

现在，理论物理成为科学界关注的焦点，是最尖端的研究领域。这是因为它正处在一个重大突破的关口。长久以来，几乎每个孩子都在问的问题"物质是由什么构成的？"眼看就快要有答案了。我们是不是终于发现构成所有物质的基本单元？不管是一张桌子、一个人或我们的宇宙，都是由同样的单元构成的。或者我们还没有找到这个基本单元，还必须去找寻更小、更小的单元，必须往这个无底洞里继续钻？

要回答这个问题，我们必须回溯到人类文明初始的一种哲学想法，就是我们这个世界，包括周围的所有东西，都是由某种简单的东西构成的。因此，老是有科学家在找寻这个基本单元，就像生物的细胞或基因。公元前5世纪，希腊哲学家德谟克利特（Democritus）就主张，构成物质的最小单位叫“原子”（希腊文的原子，有不可分割的意思）。这个观念撑了2000年之久。

在19世纪，科学家终于发现，原子还不是构成物质的最小单位。原子的中心有个核，叫原子核，电子在外面绕着原子核旋转，就像行星绕着太阳旋转那样。接下来的20世纪，科学家的焦点都集中在原子核上，很快就发现到它并不单纯。原子核是由更小的核子组成的，有中子和质子。而把核子捆在原子核里的是一种很强的力。这种力可能是宇宙中最强的一种作用力。因此多年以来，科学家都在问：“把核子胶住，形成原子核的这种强相互作用，到底是怎么回事？”

1935年，日本物理学家汤川秀树（Hideki Yukawa，1907～1981，1949年诺贝尔物理学奖得主）首先提出一种合理的猜想。他认为原子核里除了质子和中子之外，应该还有一种粒子，叫介子（meson），担任力的载子。就像橄榄球在球员之间传来传去那样。介子也在质子和中子之间传来传去，结果把质子和中子拉拢在一起。两年之后，加州理工学院的安德生博士发现了一种新粒子，他认为可能就是汤川秀树所推想的载子。物理学家都雀跃不已，大家都认为事情好像又变得井然有序了。但后来大家却发现，这个新粒子的特性并不符合物理定律所预测的数值。它的出现，反而使相关理论乱成一团。弄得哥伦比亚大学的物理学家拉比曾经绝望地振臂高呼：“谁需要这个新粒子？”

物理学家又花了5年功夫，才搞清楚这个新粒子并不是汤川秀树理论里的介子，而是另一种不相干的粒子，叫μ子（muon）。第二次世界大战之后，原子对撞机愈做愈大，功能也愈来愈强，实验物理学家先后

发现了好几种介子，其中包括汤川秀树提出的介子。这对于了解所谓的强相互作用，有很大的进展。强相互作用很重要，但是我们日常生活中唯一能感受到它的影响力的，大概只有原子弹了。

拜原子对撞机之赐，科学家发现了各种新而怪异的粒子。这些粒子的质量都是由动能转化来的，绝大部分寿命都很短，大约只有数十亿分之一秒而已。因此，几乎是不可能捕捉到的。但这些粒子出现过的轨迹，会在底片上留下来，我们也就能研究了。这些新粒子的出现，产生了一连串的新问题，例如：它们是怎么蜕变的？它们之间有复杂的结构关系吗？

辉煌的**20**世纪**50**年代

20世纪50年代，有很多顶尖物理学家投身于这些困难的研究工作，费曼也是其中之一。

费曼的兴趣主要集中在一种令物理学家困扰多年的现象，就是放射性物质发射出快速电子的过程。这个过程称为β衰变。这种β衰变让物理学家觉得，原子核内除了有那种把质子和中子黏在一起的强相互作用之外，应该还有另外一种完全不同的作用力。费曼接受了这种想法的挑战，结果也产生了革命性的发展。

其一，物理学家在50年代发现，这种新的力，后来叫“弱相互作用”力，不只发生于β衰变而已，还出现在其他反应中。事实上，它和强相互作用，以及其他两种科学家早已知道的力，即电磁力和引力，是有同等地位的。强相互作用我们在前面已经提过了，电磁力就是使电子同绕着原子核旋转的作用力，而引力是4种基本作用力当中最弱的一种。弱相互作用现在已经知道和许多奇异粒子的衰变有关，它比电磁力弱了约10万倍，但显然又比引力强很多。引力是如此的微弱，如果和强相互作用相比，相对强度会是一个分母有42个零的分数。这种比较关系让费

曼很开心，他说：“你看，大自然这么美妙，居然做出这种相差了42个零的东西。”说这句话的时候，还兴奋得举起手来。

其二，50年代物理学的重大进展就是推翻了一个大自然的基本定律。长久以来，大家都认为大自然是依循一组守恒律而运作的，包括人人都知道的能量守恒与质量守恒（或叫能量不灭、质量不灭），到比较少的人知道的一些原子特性的守恒（可解释质子的稳定性，以及某些奇异粒子在原子对撞机里创生的理由）。大家都认为这些守恒律是永远不会改变、放诸四海而皆准的。

其中很重要的一项守恒律，是宇称守恒（conservation of parity）。它的意思是这样的：如果某个物体有镜像存在，那么这个镜像会和物体本身一样，遵守同样的物理定律。为了符合这个守恒律，亚原子世界的粒子会以两种不同方式之一存在。第一种方式是粒子和它的镜像完全一样，就像MOM这个字，不管是在真实世界还是在镜子里，念起来都一样。第二种方式是可能有两种粒子，一种是左手型，另一种是右手型，彼此互为镜像，就像MAY和YAM这两个字的关系一样。

由于强相互作用是遵守宇称守恒律的，大家就认为弱相互作用应该也遵守。但是涉及弱相互作用的原子对撞实验里，却发现完全不符的结果。有个粒子完全没有这种宇称守恒的镜像，也就是没有镜像的MOM。

它们会不会是以第二种方式存在，也就是有两个互为镜像的粒子，就像MAY和YAM那样？但是在更进一步的实验里，并没有发现这种情形：实验的结果表示，其实还是只有一种粒子。因此，费曼和其他的物理学家，譬如实验物理学家布洛克（Martin Block），忽然有个灵感：或许在这个特定的弱相互作用里，宇称是不守恒的。

这只是个预言式的建议。但是接着有两位中国出生的物理学家，普

林斯顿高等研究院的杨振宁和哥伦比亚大学的李政道，共同提出一篇划时代的论文，认为所有的弱相互作用都不遵守宇称守恒律。他们也提出实验方法，希望实验物理学家可以验证他们的理论是否正确。他们两人的直觉为自己赢得1957年的诺贝尔物理学奖。而更重要的是，他们把核物理学给颠覆了。

费曼一生最兴奋的事

从宇称守恒的限制解脱出来之后，费曼和盖尔曼，还有苏达襄（E.C.G.Sudarshan）和马夏克（Robert E.Marshak）开始接受挑战，想找出可以描述弱相互作用的理论。1957年，他们研究出一个理论，指出弱相互作用和粒子的某些特性有关，例如自旋方向。如今，大家都认为这个理论增进了我们对原子核的了解，贡献非同小可。

费曼说，这个理论的发现，是他一生中最兴奋的事，比早年的研究工作还要兴奋；尽管早年的工作替他弄到诺贝尔奖。费曼说：“得到诺贝尔奖，是因为我把一个大问题扫到地毯底下。但是这项工作，情况完全不同。我知道了大自然运作的方式，它是如此优雅，如此美丽，简直是闪闪发光。”

这个新定律太漂亮了，马上引来许多著名物理学家进行实验。实验结果却不怎么样，使得这个理论一时显得岌岌可危。但费曼不为所动，坚持一定是实验有问题。后来果然证明他的坚持是对的。

盖尔曼得八正法

几年之后，盖尔曼也有一个美妙的大发现，使他同样经历了这种惊心动魄的刺激。随着原子对撞机的发展，科学家发现的基本粒子也愈来愈多。到了1962年，总数已经有上百个了。这些粒子大部分可以分成两类，一类是轻子（lepton），是相互作用较弱的粒子，费曼称它们为弱

子（weaklies）；另一类则是强子（hadron）。举例来说，电子和正电子（带正电荷的电子）、μ子和微中子（neutrino）都属于第一类。而中子、质子和π介子则属于第二类。（更复杂的是，这些粒子都存在一个反粒子，除了携带相反的电荷之外，其他的物理特性都和正粒子是一样的。当正、反粒子遭遇的时候，会互相湮灭而放出所有的能量。）

强子之下，还有一个比较小的类别。这类的粒子暂称奇异粒子。这类粒子本来应该是很短命的，但不知什么原因，它们却相对来说算是很长寿的。

此外，还有两种很重要的粒子：一种叫光子（photon），它是电磁力的载子；另一种叫引力子（graviton），虽然还没给发现，但应该是引力的载子。

为了替这些由摸彩袋里跑出来的粒子找出某些规则，盖尔曼介绍了两个重要的观念。第一个是早在1952年就发展出来的，称为奇异性（strangeness）的东西。就像夸克一样，奇异性也找得到文学出处，这次是引用了英国哲学家培根（Francis Bacon，1561～1626）的话：“如果没有一定比例的奇异性，就不会有出色的美好。”

根据基本粒子蜕变阶段的数目，每个粒子可以赋予不同数值的奇异性。如此就可以区分不同的粒子，就像中子和质子可以利用所带的电荷来区分。[盖尔曼后来才知道，日本东京有个科学家西岛和彦（Kazuhiko Nishijima），几乎和他同时，也以奇异性来为粒子分类。]有了这个工具，盖尔曼就试着看是否能把这些基本粒子排入一张秩序井然的表里，就像19世纪俄国化学家门捷列夫（Dmitri Mendeleev，1834～1907）所做的元素周期表。

盖尔曼回想，自己和费曼试了许多形式，都没成功。最后，有一种形式似乎有些眉目。基本粒子好像每8个或10个可以归成一族，同族的

粒子具有类似的奇异性、电荷、质量和自旋等的物理性质。就在盖尔曼做这件事的时候，一位驻伦敦的以色列武官，名叫奈曼（YuvaI Ne’eman），一面为自己的国家采购军火，一面为自己准备博士论文，也同时在研究这个分类架构。

但是其中有一族粒子只有9个而不是10个，看起来并不完整。于是盖尔曼预测，应该还有一个基本粒子没有发现，以及它应该拥有怎么样的特性，正好可以排入这一族，于是实验物理学家接下这项任务，开始全面搜索这个尚未现身的粒子。

几年之后，布鲁克哈芬国家实验室（Brookhaven National Laboratory）有一支33位科学家的研究团队中了大奖。他们轰击原子核，检查了10万张以上粒子相互作用轨迹的照片。其中有一张居然是这个悬赏的粒子轨迹，稍后命名为S负粒子，寿命只有一百亿分之一秒。它具有盖尔曼所预测的那些特性。不久，马里兰大学也证实这个粒子存在。最后，瑞士日内瓦的欧洲粒子物理研究中心（CERN）也证实S负粒子的存在。

盖尔曼以自己丰富的文学素养，称自己的基本粒子图表为“八正法”（Eightfold Way）。这是借自佛家经典，“解脱生死轮回的苦，通向涅槃解脱的正确修行方法，就是八正法：正见、正思惟、正语、正业、正命、正动、正念、正定。”但一般科学家不像他这么有禅思，通常把这个方法称为SU-3理论，因为它是基于基本粒子三重态的对称结构。

八正法像炸弹一样震撼了物理学界。盖尔曼偶尔还会为八正法图表所揭露的大自然单纯性感叹不已。他曾问：“为什么这么简单的美学标准老是这么成功？难道只有物理学家能够领略到吗？”费曼回应说：“我认为只有一个答案，那就是：大自然本来就是非常美丽的。”

近来，一些物理学家想要超越这个八正法，再往前突破，解释为什

么大自然会有这么多如诗般美妙工整的基本粒子。哈佛大学的施温格声称，已经发展了一个简单的数学理论来解释整件事。其他人，根据盖尔曼的说法，则正在建构一种夸克模型。在这个模型里，中子和质子都是由3个夸克组成的，而每个夸克又有3种形式。

科学家为何这么慎重地寻找夸克（虽然盖尔曼本人并不肯定夸克存在）？那是因为根据理论，夸克并不会衰变成别的东西。因此，如果宇宙创生之初，真的造出夸克的话，它一定会存在于什么地方。

当然，并不是所有科学家都同意这种说法。加州大学伯克莱分校的丘氏（Geoffrey Chew）就以完全不同的方法来研究这个问题。他提出一种理论，怪诞地称之为“靴袢理论”（bootstrap theory）。这个理论认为，并没有所谓最基本的粒子存在，不论是叫夸克或其他什么东西。相互作用强的粒子是用它们自己的靴袢互相结合而成的。“乍看之下，这个理论和我们的夸克模型好像有很大的矛盾，”盖尔曼说，“其实它们很可能是相容的，甚至都是正确的。尤其是，如果夸克最后很可能证实为只是有用的数学虚拟之物，而不是实质的物质构成单元，那这两种理论当然可以并存，不相矛盾。”

加州理工学院的两块招牌

虽然盖尔曼和费曼都出生于纽约市的中产阶级家庭，但两人成为理论物理学家的过程却大不相同。费曼追忆自己的成长过程，几乎每件事都受父亲很大的影响。

费曼说：“小时候，父亲带我在树林里散步，总是指出一些东西给我看。而这些东西是我自己绝对不会注意到的。他告诉我这个世界的情况以及很久很久以前的世界是什么样子。他会拾起一片叶子，拿给我仔细看，说：‘你看这片叶子，上面有条棕色的痕迹，有粗有细的，为什么？’我试着回答之后，父亲会和我一起再检查这片叶子，看看我的答

案对不对。然后他会指出，这条线是一只在树叶上生活的虫子造成的。然后进一步问我为什么？因为它要产卵，这些卵又孵化成新的昆虫。”

“父亲告诉我，这个世界是连续而和谐的。他并不是任何事都知道，譬如他不知道那只虫子是8只脚或100只脚。但是他显然理解许多事情的道理，而我总是听得兴趣盎然。因为到最后总是带给我一阵狂喜——我又见识到大自然的奇妙所在。”

费曼很快就爱上自然科学，而且偶尔还会得到意料之外的助力。就读法洛克维高中的时候，费曼觉得课程内容枯燥无味，常常不专心听课，又爱说话。老师嫌他太吵了，就塞给他一本书，叫他坐在教室后排安静阅读，并且告诉他说：“等到你把书里面的东西全部弄懂之后，才可以再讲话。”

费曼说：“我因此学会了微积分。”大学时他进麻省理工学院，1939年光荣毕业，接着转到普林斯顿大学念研究生。第二次世界大战期间，他是洛斯阿拉莫斯的一个小主管，负责原子弹原料的理论计算。1945年7月，在三一角的首次原子弹试爆，他也在现场直接目击。

费曼是个彻底的反权威者，这种特质倒是颇适合钻研大自然的基本定律。他很喜欢打邦戈鼓，具有职业水平，在物理学家里可能是前无古人；在诺贝尔奖得主当中，更是绝无仅有。三大册的《费曼物理学讲义》的前言里就收录了一张他打邦戈鼓的照片。

盖尔曼的业余嗜好不像费曼那样多彩多姿，但是他非常博学广闻。他太太曾在剑桥大学研究考古学。受到太太的影响，盖尔曼很喜欢到希腊或巴勒斯坦这些地方挖古物。他也是语言学专家，研究过好多种语言，包括非洲和中东的一些奇特方言。他说：“我喜欢多样性，喜欢隐藏在多样性背后的自然史。为什么有这么多不同的语言？这么多不同的鸟类？甚至这么多不同的精神疾病？如果能找出它们背后的模式，是多

么有趣的事。”

盖尔曼的父亲是个语文教师。他自己是天才少年，15岁就进了耶鲁大学。会成为物理学家其实十分偶然。他回忆说：“我填大学申请表，其中有一项是未来希望的职业。我本来想填考古学，但父亲反对。他认为考古学无法养家糊口，建议我改填工程。我不喜欢工程，就选了和工程很接近的物理。”

盖尔曼在麻省理工学院得到博士学位之后转到普林斯顿高等研究院追随奥本海默。到了1954年，盖尔曼造访加州理工学院，才和费曼碰在一起。他们只交谈了一小阵子，就因为一个笑话，逗得彼此大笑。盖尔曼回忆说，他到加州理工学院的重头戏是隔天要接受院长面试。1955年，他以助教的身份进入加州理工学院，第二年就成为正教授。

敬请期待……

最近几年，盖尔曼和一些顶尖的物理学家多方奔走，竭力鼓吹建造世界上最强大的原子对撞机，可产生2000亿电子伏特的能量。这个设施预备建在伊利诺斯州的威斯顿（Weston），预算为2亿美元。盖尔曼认为，这个计划对于美国保持粒子物理研究的优势是绝对必要的。

“我认为粒子物理正处于重要关头，就像20世纪初的原子物理一样，”盖尔曼强调，“我们已经摸索出基本结构的轮廓，但还没有整理出一套完善的理论，来诠释强相互作用与弱相互作用。如果有了这个理论，我们就能了解每个事物底下真正的道理。”

“最近，普林斯顿的物理学家所做的实验，显示另有一个对称律未必成立。这个对称律原先公认是有效的，就像宇称守恒律在10年前也是无可置疑的一样。有些理论物理学家就跑过头了，他们臆测大自然还有第五种作用力。但是事情看来并非如此。现在虽然还没有人知道违反对

称律的情况是如何发生的，但我认为，我们已经走到重大发现的边缘了。”

费曼的说法也差不多，但他用了一个“和火星人下国际象棋”的隐喻。他说：“如果你不知道下国际象棋的规则，而且只看到一部分棋盘，你怎么知道该怎么下？一旦你知道所有的规则了，那么当火星人按照一定的路数移动了一些棋子时，你知不知道火星人心里在想什么？”

“物理最大的秘密，就是不知道哪里可以找出所有的物理定律。但即使知道了所有物理定律，我们也不知道到底真正发生过什么事。我们会知道哪个棋子是‘城堡’，其他各种棋子该怎么走，我们也知道残局是什么状况，可是就是无法推知这盘棋的对手采取了什么策略，也完全不清楚这整盘棋的过程。”费曼说：“我们从实验物理学家那里，得到很多资讯。实验结果就像观棋的人的说法。我们也试着分析这些资讯，甚至可以建议，做某些新实验。不管怎样，我们仍然在等待或期望大策略能够浮现。到那时候，你我或许才能够真正了解，大自然是多么奇妙。”

致谢

这本书的完成要感谢很多人的帮助。拉尔夫·莱顿不断提供一些很有价值的资料，还帮助我把很多事情拼凑在一起。赛克斯提供了许多宝贵的意见。还有葛雷易克（James Gleick，《混沌》的作者，曾为费曼作传），提供几封连我都不知道的信件。我极大地受惠于这些先生的努力。他们三人都写过关于我父亲的书，都采取高规格的标准。我真的觉得自己只是站在一群巨人的肩膀上，坐享其成。尤其当我编辑这本书时，更是体会到成书不易，真的要衷心感谢他们做过的工作。

我特别要感谢索恩（Kip S.Thome）博士和福劳思齐（Steven C.Frautschi）博士，谢谢他们慷慨地为这本书付出的心血与时间。索恩博士改写了本书的科学问题的表达方式，使专业性的信件可读性增强。我现在终于明白，他为什么是最受欢迎的好老师了。福劳思齐博士替我写好了每一部开头的科学背景说明，同样给了我很大的帮助。他根据很多残缺、琐碎的资料，拼凑出完整的叙述，我对他的技巧佩服得五体投地。他们都是我父亲在加州理工学院的老同事、老朋友。我明白他们对本书的贡献：永远感谢他们。

海伦（Helen Tuck）是我父亲多年的秘书，告诉我很多和父亲一起工作的趣事。我也很感谢琳达（Linda Bustos）和加州理工学院的公共关系部门，很快就把我要的父亲档案照片找出来给我。勒蓓尔教授把她成为加州理工学院第一位女性终身教授的有趣背景故事告诉我。我还记得沃富仁博士深夜到加州理工学院拜访我父亲，我还曾和他打招呼。我父亲对沃富仁的印象非常深刻，觉得他是个工作勤奋、不知疲倦的人。沃富仁很大方地同意我登出他写给我父亲的信，还为自己的信写了注记。傅雷德金教授也帮了很大的忙。我爸爸是他婚礼的男傧相。他后来把儿子取名理查德，纪念我父亲。他们两人关系深厚，互相敬重。

多年以前，柯珂（Amanda Cook）小姐还在Basic Books出版公司工作的时候，就参与了这本书的出版事宜。后来她虽然转到别家出版公

司，仍然不忘对我提供许多宝贵的意见与看法，我十分感谢她。另外，芬斯坦（Ingrid Finstuen）和雷玻波特（Maria Rapoport）也一样。在找信件的原作者这件事上，哈特曼（Vanessa Hartmann）费了很多心，让这些写给我父亲的信，能得到本人或后代同意刊登。有些信实在找不到当事人，我们就拟一个假名字来代替（有些比较尴尬的信件，也会用化名，以保护当事人）。赫斯塔德（Megarn Hustad）是个知识渊博、工作勤奋、热情感人又有很多点子的编辑，令人太佩服了，她是居中调和的关键人物。我也感谢我的经纪人杰克生（Melanie Jackson），多年来，他的意见让我受用极多。

库提纳将军对"挑战者号"航天飞机的事故调查过程，记得非常清楚，他提供的许多细节，对这部分内容很有帮助。我也感谢戈特里布（Michael Gottlieb）在本书很关键的时刻，暂时保存这些信件，而且帮忙找出我父亲现场目睹第一次原子弹试爆的证据。萨尔斯曼（Mark Salzman）花很多时间审阅书稿，给我提了一些很有价值的建议。我的好朋友李奇蒙（Cameron Richmond）也替我找到一些很难找到的原信作者。邦恩（Anita Bunn）则替我编排整理所有的照片。在此一并致上我的谢意。

感谢我哥哥卡尔，他给了我无比的信心，让我能完成这本书。我的阿姨和姨丈（Jacqueline and Eric Shaw）热心协助我，把很多小细节拼凑起来。姑妈琼恩（Joan Feynman）提供了不少父亲早年的信件，使我如获至宝。另一位阿姨卢音（Frances Lewine）也帮了很多忙。表哥希尔斯伯格（Charle Hirshberg）是个"开心果"，也有很多睿智的提议。我也要感谢阿琳的兄弟葛林鲍姆夫妇，承他们的允许，公开阿琳的信件与照片。

在编辑这本书的过程里，我先生全家也给了我很大的支持。小叔帕布罗（Pablo Miralles）是个聪明又敏感的读者，当我需要一些额外的意

见时，总是找他。小姑布伦妲（Brenda Miralles）是个“超级保姆”，常在我忙得不可开交的时候为我带孩子；我的公公和婆婆阿窦佛和玛丽雅（Adolfo and Maria Miralles）也常来帮忙。

最后，我要感谢我的孩子，爱娃（Ava）和马可（Marco），谢谢他们的耐心与谅解。也要感谢我先生狄亚哥（Diego），我永远信赖他的判断，当我凌晨坐在电脑桌旁，他总是在身边陪伴我。他的协助和支持永远是我最大的依靠。

我感谢下面这些人，允许我公开他们或他们的亲人写给我父亲的信：Henry Abarbanel, Molly Anderson, Hans A.Bethe, LaurieM.Brown, Adrian M.Bronk, Steven Cahn, Nigel Calder, Robert Car-neiro, Helen Choat, Lawrence Cranberg, Sir Francis Crick, RobertCoutts, Beulah E.Cox, Martin B.Einhom, Debra Feynman, TomasE.Firle, Betsy Holland Gehman, Michael H.Hart, Ben R.Hasty, Richard C.Hemry, Marka Oliver Hibbs, Heidi Houston, JohnA.Howard, Jon A.Johnsen, Vera Kistriakowsky, Julia Kornfield, Portia Parratt Kowolowski, Tina Levitan, Joan Thomas Newman, Thomas H.Newman, Clifford S.Mead, David Mermin, Mark Minguil-lon, Ken Olum, Leigh Palmer, Frank Potter, Ernest D.Riggsby, Tom Ritzinger, Irwin Shapiro, Jeff Stokes, Lewis H.Strauss, Paul Tellerand Wendy Teller, Ilene Ungerleider, Vincent Van der Hyde, Jona-than Vos Post, Spencer Weart, Edwin J.Wesely, John A.Wheeler, Jack Williamson, Jane S.Wilson, J.G.Wolff, Stephen Wolfram.

米歇尔·费曼

● Youth 青年 →我做的比我想做的少，因为我妈总是把我轰出家门，让我去玩。● Family 家庭 →我父亲教我崇拜 π ；教我对 π 有讶异感。他喜欢 π ，因为居然存在这么一个怪异的比率，那是有关圆的如此简朴的一件事。● Autobiographical 自传 →如果你像其他每个人那样走相同的方向，你前头就有一大群人。● Art, Music and Poetry 艺术、音乐与诗 → 我非常想学画画，理由只有我自己知道：我想表达我的一种感情，关于世界之美的感情。● Natural 自然 →自然只用很长的线编织她的图案，因此她的织物的每一小片，都显示整个织锦的组织方式。● Imagination 想象力 →我不知道为什么有些人觉得科学乏味而难学，而另一些人发现它好玩而容易，但科学有一个特点，我从中得到了很大的动力，那个特点是科学需要好多想象力，来琢磨世界其实像是怎样。● Humor 幽默 →尽管我母亲对科学一无所知，她对我影响也很大。特别得说，她有一种奇妙的幽默感，我从她那里明白：最高形式的理解，是笑，是人类的同情。● Love 爱情 → [谈他最骄傲的事情：] 我爱我的第一个妻子，我能爱得多深，就有多深。●Philosophy and Religion 哲学与宗教 →科学家是探索者，哲学家是旅行家。● Nature of Science 科学的本质 →科学的正直。科学思维的一个原则，是彻底的诚实。● Curiosity and Discovery 好奇与发现 →我的科学兴趣，仅仅是发现世界更多的东西；我发现得越多越好。我喜欢发现。● How Physicists Think 物理学家怎么思考 →我一旦沉浸在物理学中，我就忘了我在跟谁讲话。●The Quantum World 量子世界 →质子和中子，仅仅是大约四百种已知之物中的两种。这是一堆可怕的混乱，比门捷列夫时代的化学还糟糕，糟糕大约四分之一或五分之一。● Science and Society 科学与社会 →科学有什么价值吗？我认为一种做事的力量是有价值的。那结果是好事还是坏事，依赖于如何使用科学，但那种力量是一种价值。● Mathematics 数学 →数学是一种语言，外加推理；它像一种语言，外加逻辑。数学是一种工具，用来推理。● Technology 技术 →一台计算机，是一个高级的、超速的、现代化的文档管理员。● War 战争 →战争灾难的进一步结果，或许是大家对物理学产生普遍的敌意；这是破坏引起的结果，大家或许指责科学家，因为科学家使破坏变得可能。

The Quotable Feynman ● 费曼语录 ●

[美]米歇尔·费曼●编 王祖哲●译

湖南科学技术出版社

版权信息

费曼语录

编者：[美]米歇尔·费曼

译者：王祖哲

责任编辑：吴炜　孙桂均　李蓓　杨波

书籍设计：邵年

ISBN：9787571003975

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息
A Biref Note on Sources 材料来源简述
Foreword 前言
Reflections 追思
My Quotable Father 我那妙语连珠的爸爸
Feynman Chronology 费曼年表
Youth 青年
Family 家庭
Autobiographical 自传
Art, Music and Poetry 艺术、音乐与诗
Nature 自然
Imagination 想象力
Humor 幽默
Love 爱情
Philosophy and Religion 哲学与宗教
Nature of Science 科学的本质
Curiosity and Discovery 好奇与发现
How Physicists Think 物理学家如何思考
The Quantum World 量子世界
Science and Society 科学与社会
Mathematics 数学
Technology 技术
War 战争
Challenger 挑战者号
Politics 政治

Doubt and Uncertainty 怀疑与不确定
Education and Teaching 教育与教学
Advice and Inspiration 建议与灵感
Intelligence 智力
The Nobel Prize 诺贝尔奖
Worldview 世界观
The Future 未来
Honoring Richard Feynman 颂扬理查德·费曼
Acknowledgments 鸣谢
Sources 资料出处

Dedicated to my children Ava and Marco

献给我的孩子艾娃和马可

A Biref Note on Sources
材料来源简述

Michelle Feynman

米歇尔·费曼

理查德·费曼被誉为伟大的解释家。这册语录展现家父解决科学问题的方法、他的哲学以及他的谈吐风格。这些语录以话题分类，对关于他如何思考，提供了一种更丰富而深刻的理解，强调他认为什么是重要的事情，并且为他如何表达自己提供了一些光辉的例证。

本书的资料来源是他的许多已经出版的著作、装满了14个抽屉的个人文件，以及几十小时的课程录像。大量重要的语录也来自查尔斯·维纳（Charles Weiner）对他的采访，这是为了制作1966年到1973年“美国物理学会”的口述历史项目。研究助手安妮莎·库克（Anisha Cook）和詹娜·文博格（Janna Wennberg）对本书的形成至关重要；在最后一个夏季，我和她们一起搜集了几千条语录，然后分门别类编入26个话题，就成了此书。

从书面著作、笔记、书信和讲义中抽取来的语录集，不能充分捕捉我父亲关于五花八门的话题的那些无远弗届的思想；尽管如此，我的希望却是本册集录将为读者提供一种感受，体会他的清晰性，他的幽默感，以及他看世界那种独一无二的方式。

Foreword
前言

Brian Cox

布莱恩·科克斯

曼彻斯特大学粒子物理学教授

如果你走进世界上的任何一所大学的物理系，问大学生：哪位科学家是他们最热衷的榜样？我认为大多数人会说：“理查德·费曼。”爱因斯坦或许是紧随其后的第二名。

理查德·费曼是20世纪最伟大的物理学家之一。他与施温格、朝永振一郎分享1965年的诺贝尔物理学奖，奖励他们开拓了量子电动力学理论的研究工作。他们的研究，直到如今，仍然是关于光与物质相互作用的最精确的描述。没有他们的研究，我们不会理解原子。费曼的名字与这个理论难解难分，是因为他搞出了费曼图。“欧洲粒子物理研究所”，或者任何一个现代粒子物理实验室，在那里工作的每一位物理学家，都要学会如何使用费曼图[1]。要理解亚原子世界，费曼图是我们理解的基础；当粒子碰撞之际，费曼图能让我们计算出会发生什么，甚至能预言新粒子的存在，如希格斯玻色子。没有费曼图，我就不能想象粒子物理学；若无费曼，多半至今也没有费曼图。在有人为你解释了之后，你会觉得费曼图在直觉上是一目了然的，而你也会感觉你自己是鼓捣不出这种东西的。此乃理查德·费曼的特别天才：探索自然，用的是一种心里就有的直觉魔法。他的朋友和同事汉斯·贝特（Hans Bethe）精彩地总结了他的方法：“有两种天才。一般的天才干大事，但他们为你留下了想

象的余地，你相信你也能干同样的事，只要你足够卖力。还有一种是魔法师，他们怎么把事儿办成的，你茫然不知。费曼是魔法师。”

单凭量子电动力学就足以把费曼稳稳地置于伟人行列，但得了诺贝尔奖的物理学家大有人在，却少有几个大学生能记得他们的名字，更甭提把他们当英雄崇拜。理查德·费曼独享的那份尊崇，我认为其原因可发现于本书：他那尖锐而质朴的逻辑，剃刀一般的精确又不失人情味，催生发现的奇妙感，对自然的深爱，以及对理解自然工作方式的渴望。我读他的言辞，应该用纽约工人的腔调来读，我就听到过一位到处给人家修理管道的老技师的那种言之凿凿的清晰性。不来虚的，不摆迷魂阵，没忽悠人或者自命不凡的意思；只觉得这个人以最少的唆把事儿办妥。理查德·费曼思考物理学，就是这个样子。我常常在我的书里引用他的话，因为我不能把我对物理的感觉表达得像他那么清楚。1981年BBC播出了一个精彩的访谈节目，叫《发现的乐趣》，费曼被问到发现“万物理论”的可能性——这个理论是一个完整的数学框架，在最基本的层面上描述自然的全部。

“大家对我说，‘你想寻找物理学的终极定律吗？’不，我不想。我仅仅指望更多地找到与这个世界有关的东西，假如到头来有一个简单的终极定律，能解释万事万物，那敢情好；找到那个是太好了。如果到头来事情像个洋葱，有好几百万层，我们就只能烦躁，懒得一层一层地剥了，那就那样了！因此，在我们去研究的时候，我们不应该预先决定我们试图干什么，只管发现更多的东西就行了……我的科学兴趣，仅仅是更多地发现与这个世界有关系的东西。”

在我看来，此乃对科学的完美描述。面对自然的复杂而无限的精妙，在小事儿中自得其乐，而不摆出无用的学术姿态，你或许还能取得一点进步。读他的言辞，你会翻来覆去地听到这个意思。我是个简单的人，我喜欢仔细思考简单的东西。真正的物理学家就这么说话。

这种直截了当的简朴性，在描述搞科学的过程之际，当然也不见得就缺少诗意的激情。我最喜欢的语录里有一些揭示费曼心里对科学事业的看法："我们身处一个英才辈出的时代，一个得天独厚、充满妙趣、令人兴奋的时代。后来人回望今天，当大生嫉妒。前人生在一个发现基本规律的时代，那是何等滋味？"用一句常常用来揶揄科学家的套话来说，这话融合着孩子般的奇妙感，而费曼对这种双重的恭维心安理得。"我讨厌成年人。"

费曼还善辩，一有机会，他就口齿清楚，鞭辟入里。我想不起有几个物理学家能像他这样写电磁学的导论课："从人类历史的长远观点来看，比方说从未来的一万年看今天，19世纪最重大的事件毫无疑问应该算麦克斯韦发现了电动力学的规律。与在同一个十年中发生的这一科学大事相比，美国内战黯然失色，沦为本乡本土的鸡毛蒜皮。"我喜欢这话。我读这段话，把它完全理解为对无聊的地区战争的恰当鞭挞，那也预示了卡尔·萨根的《淡蓝的小点儿》（*Pale Blue Dot*），此书在30年后写成，对狭隘的人类蠢行大放悲叹："在宇宙这个浩大的竞技场上，地球是一个小小的舞台。想想看，那些将军和帝王让血流成河，在荣耀和胜利中，他们才成了一颗小点子的一部分的暂时的霸主。"

那么，在这些书页中，你会对天才有一瞥之见，你会读到历史上一位伟大的博学者以及古往今来一位伟大的科学家的思想。我希望你会学到不少，正如我已经学会了不少一样，此后你对自然界或许多了一点好奇心、奇妙感、谦卑和尊敬。费曼说过："我不想把这种事儿搞得太严肃。我认为，对大自然，我们也该仅仅是找点乐子，我们想象它，而非为它担心。"

Reflections
追思

Yo-Yo Ma

马友友

大提琴家

与理查德·费曼的伟大心灵和人格亲密接触是何感觉，公众对此似乎有不知餍足的胃口。这种好奇心代代相传，跨越了不同的学科与文化。在他离世超过四分之一个世纪之后，他仍然活在公众意识中，他的书仍然在印刷，他传奇般的课程挂在网上，科学家们继续钻研在40年前提出的许多理论。

那么他持久的光环来自何处？我只能提供简单的一瞬。

30多年前，我常常在音乐会的后台见到理查德。他来此处，不因为他特别喜欢大提琴演奏，而因为演奏者是他可爱的女儿米歇尔；当然，哪个溺爱的爸爸会不为女儿捧场呢？有时候，我们就科学和艺术中的真实性问题打趣，以此打发时间，他总是说："在科学中，你必须证明它。"然后他就用故事让我们开心，讲的是他演奏小手鼓的那些奇闻。有一次我们到了他家，他拿给我们看他画的那些漂亮的画儿，画的是人体。他讲到他怎么就特别想去图瓦那个小国，那却是缘于玩一种地理游戏。他总是精神饱满而专注。

在我成长的年月，我崇拜的英雄之一，是伟大的大提琴家帕布罗·卡萨尔斯（Pablo Casals）。他说，他首先是一个人，其次是一个音乐

家，最后是一个大提琴家；这留给我特别的印象。在我读到理查德的如下言辞之际，感触是相似的：“单靠物理学，你得不到一种人品；你生活中的其他事情，必须也得融汇其中。”

理查德·费曼能长久地感召人心，线索就在这里。是的，他是全部时代的大物理学家之一，但他也把心思分给生活与爱，分给孩子们，分给家人，分给对人类形象的敏感，分给最复杂的鼓点，分给整个环境。他密切关注我们面对和制造的问题，同时他也知道人类是自然的一部分，自然拥有他最心醉神迷的奥妙——因为自然的想象力远远胜于人的想象力，而自然保守其秘密，不轻易示人。

因此，花费几年时间，把那些秘密的一部分抽取出来，以最直接而易懂的方式，让我们大家都分享，是值得的。因为他一生的工作成就了他不凡的人格，我们能认得出他的人性，因此跟随他踏上最壮丽的旅程，那是理解万物的一次永无止境的远征。

你必定仍然很逗，费曼先生！

My Quotable Father
我那妙语连珠的爸爸

Michelle Feynman

米歇尔·费曼

最近我翻出高中和大学的几个笔记本，上面那潦草的字记录的是我上课的情形。滑稽、兴奋、心碎，时时令人恼恨，多年前的这些生活片段，让我记起上课的某一特别时刻，比我那些真正的课堂笔记还要迅速得多。一句简明扼要的话，有某种非常的力量。因此，我一直喜欢语录。

我最喜欢的父亲的语录之一，写在他给我的一张生日贺卡上，那时我刚满18岁：“往前走啊！”他这么写。读这几个字，我记得我的反应——骄傲而兴奋，也夹杂着些许不安。我还记得他总是懒得对付生日贺卡那种鸡毛蒜皮；他总是让我母亲写贺卡，由此可见这个特别的小短句太不同凡响了。

父亲把他的话留给了我。从那些话中，我记得他对生活的看法，也记得他的嗓音，确定而清晰。他是这么一个人，不为小问题操心。他的如下建议——算了吧，拉倒吧——很是启发人心：

我们都干傻事儿，我们知道有人干的傻事儿比其他人多；但是，要核实谁干的傻事儿最多，那是没什么用处的。

我常常问，他算哪类父亲。他记不起我的生活细节（目前多大，在哪儿上学，等等），我认为这些事儿并非无关紧要；虽然我时时为此取

笑他，他也总是乐呵呵的，也乐意花时间陪陪我。他或许有一个名声，说他对傻瓜不耐烦，但我记得他有趣、活跃、和气、随和、耐心。关于择业，我记得他的明智建议，跟他在1984年写给一个高中生的信非常相似：

如果你能找个事儿，年轻时喜欢干，又足够重要，在你的整个成年阶段都保得住你的兴趣，那就太妙了。因为，无论那是个啥事儿，如果你做得足够好（如果你真喜欢，你会做得足够好），人家无论如何也会给你钱，让你去做你想做的事儿。

每当我读他的文字，我就听得见他的声音。他在诺贝尔奖演讲中用了“攒”这个词儿，我至今想起来就笑：

我完全不曾用我攒的那些机器来解决哪怕一个相对论的问题。

我爸爸用的一些词，已经都不流行了，我为此忍俊不禁；他说话的那种独特韵味，也让我着迷。在我长大成人的那些年月，我记得他几个古色古香的说法——电冰箱是“冰盒子”，我的个天！“他们周游列国，到底摸到了这儿”，这是说走弯路。

我知道他特别喜欢拉斯维加斯。他把他到那儿的故事掺进了课堂。我实在喜欢下面这个段子，因为他是个不讲语法的专家。语调和场景实在是般配：

举个例子哈。我在拉斯维加斯，假定哈。我遇到个读心术士，或者这么说也成，一个人声称自己并不是读心术士，用更专业的说法，是他有心灵感应的本事，这意思是说，单凭念想，他就能影响东西的行为方式。这伙计走到我跟前，他说：“我把这本事显摆给你瞧瞧。我们这就站在轮盘赌那儿，在每次转的时候，我会提前告诉你，那会是黑的还是红的。”

我相信，比方说，在我开始之前，我为此选个什么数，那是无所谓的。从对自然和物理学的体验中，我碰巧对读心术士报以白眼。如果我相信那人是由原子构成的，如果我知道原子相互作用的全部方式（大多数方式），我就看不出，心里的鬼主意有什么直接的办法，居然能影响那个球。因此，从其他经验和一般的知识来看，我对读心术士强烈蔑视。绝对蔑视。

现在我们开始。读心术士说，那将是黑的。果然是黑的。读心术士说，那将是红的。果然是红的。我相信读心术士吗？不信。那可能是碰巧的。读心术士说，那将是红的。果然是红的。烦躁哈。我要了解一下这个门道了……

我们还看得出他怎么打发闲暇。看到一些妙语，展露他总是痴迷于物理学研究，我会吃惊吗？真不吃惊。那是一个开关，他关不上的。我记得，他似乎总在思考物理。如果他手里没有纸，我们通常可以发现他在碎纸片上写方程式——甚至在报纸的边上。即便在他非常年少的时候，他回忆说，他也恼恨别人把他从工作中拖开。

我做的比我想做的少，因为我妈总是把我轰出家门，让我去玩。

这一句真把我逗笑了。接下来两句，表现他公开而诚恳的态度，以及他爱思考物理胜于一切。

然而，那是个不错的问题，我常常在飞机上拿出时间想解决它。我到现在也没办好它。

那必定是一两天之后，当时我躺在床上，寻思这些事儿：如果我想在一个有限区间之后计算这个波函数，那会怎样？

他的谦虚，我总是历历在目。

我得了一种病，全部的教授也都得了这病——就是时间总也不够！我发现的问题，无疑多于我们能够解决的问题。因此，我试图快快地做事，方法是提前把某些东西写在黑板上，抱着每个教授都有的一个幻觉：如果他谈的东西比较多，他教的东西也会比较多。当然，人心能吸收多少资料，只能有一个确定的比例，但我们不理会这个现象；尽管如此，我们走得过快。

我记得我从我父亲那里得到了很多建议：思考一个数学问题，看看你的答案是否有道理。与人交流，要努力直接而诚实。要友好而和气。要明白生活是一次令人兴奋的探险。找到某种你喜欢的事情去做。事事要卖力。永远，永远记住你的感觉和幽默！我不总是能嘲笑我自己，但这是我父亲擅长的事。我记得某次他拖着行李，吃力地在一个机场里穿行，好及时转机回家。他自顾自地嘟囔：“飞，是鸟儿的事啊！”——意识到这有多么正确，他大笑起来，然后才恢复平静。在他出的全部主意中，他劝告人要有幽默感或许是最重要的。保持幽默帮助我对付我自己生活中的那些不顺遂的时刻。

蛮奇怪的，我偶然看到我爸爸讲我爷爷的一句话，倒是我对我爸爸的总结：

在接触许多别人的爸爸之后，我才意识到他有多么了不起。

我将永远感念父亲与我相处的那些时刻——有时候开心、傻气、嬉闹，有时候严肃。

米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片



斯沃特（Ursula de Swart）摄影

Feynman Chronology
费曼年表

1918—1988年

1918年　生于纽约

1939年　毕业于麻省理工学院，开始在普林斯顿大学读研究生

1940—1941年　研究助手，普林斯顿大学

1942年　获博士学位，普林斯顿大学

1943—1945年　为曼哈顿工程工作，洛斯阿拉莫斯，新墨西哥州

与阿琳·格林鲍姆（Arline Greenbaum）结婚

1945年　阿琳去世

1945—1950年　理论物理学教授，康奈尔大学

1950年　访问教授，加州理工学院；在巴西教学一年

1950—1959年　理论物理学教授，加州理工学院

1952年　与玛丽·路易斯·贝尔（Mary Louise Bell）结婚

1954年　获“阿尔伯特·爱因斯坦奖”

1956年　与玛丽·路易斯离婚

讲座“底层大有空间”；提出两项纳米技术挑战

1959年　讲座理查德·蔡斯·托尔曼教席理论物理学教授，加州理工学院

1960年　与格温妮丝·豪沃思（Gweneth Howarth）结婚

1961—1963年　在加州理工学院为新生讲授物理，后成书《费曼物理学讲义》

1962年　获“E.O.劳伦斯奖”

儿子卡尔·费曼出生

1963年“约翰·丹茨讲座”，后成书《费曼讲演录》

1964年“梅森哲讲座”，康奈尔大学，后成书《物理定律的本性》

1965年　当选英国“皇家学会”外籍会员

获诺贝尔物理学奖

1968年　女儿米歇尔·费曼出生

1972年　获“奥斯特教学奖章”

1973年　获“波尔国际金质奖章”

1979年“道格拉斯·罗伯讲座”，关于量子电动力学，奥克兰大学，新西兰，后成书《QED：光和物质的奇妙理论》

1985年　任总统委员会成员，调查“挑战者号”航天飞机事故

出版《别逗了，费曼先生！》，该书连续14个星期登上《纽约时报》畅销书榜

1988年　去世于2月15日

Youth
青年

斯沃特（Ursula de Swart）摄影，米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供



斯沃特（Ursula de Swart）摄影，米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供

我做的比我想做的少，因为我妈总是把我轰出家门，让我去玩。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.17，*Classic Feynman*, pp.21—22

小时候，我有这么个想法：你能认识到这个问题很重要，如果你有机会解决它，其重要性会翻倍。你知道一个有技术头脑的小孩儿是怎么样的；他喜欢这么一个想法：每件事横竖都能搞得最佳；如果你能把那些因素组合得正确，你就不会沉迷于一个大而无当的问题，蹉跎一生而无进展；你也不会去解决好些小问题，别人也能解决的那些。

——*Omni interview*, February 1979

不要对那些呆头呆脑的标准课本失望吧。偶尔把课本合上，然后想着用你自己的措辞讲课本说的事儿，把那视为对自然的精神与奇妙的揭示。书给你事实，你的想象力能补充活灵活现的东西。在我还是一个小孩儿的时候，坐在父亲的膝头，他就教我那么做，他还给我读《大英百科全书》！

——Letter to Rodney C. Lewis, August 1981（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, pp. 332—333）

我去把“微积分”那本书拿出来，老师——说错了，是图书馆员——说：“小孩儿，你不能把那本书拿出去。你为什么把那本书拿出去？”我说：“是我爸爸要看的。”于是我就把书拿回家，我努力学会了一点儿。我爸爸看了开头几段，看不懂，这叫我大吃一惊——是有点大吃一惊，我记得。我意识到：我能明白的东西，他明白不了，那是头一遭。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

知道某物的名字，与知道某物，这两者的不同，我很小就明白。

——*What Do You Care What Other People Think?* p. 14 Classic Feynman, p.15

在我还小的时候，我发现圣诞老人不是真的，我不觉得扫兴。我倒是如释重负：全世界那么多孩子，在同一个晚上都得到礼物，要解释这个现象，如今就简单多了啊。

——*Los Angeles Times*, November 27, 1994

我小的时候，我称其为实验室的那个玩意儿，仅仅是一个乱鼓捣的地方，我也在那儿造收音机、小机械、光电池，诸如此类。知道了大学里的所谓实验室究竟为何物，我这才深感震惊。在那个地方，你测量东西，得非常认真才行啊。在我的实验室里，我连一个狗屁玩意儿都不曾测量过。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

[谈到第一次作报告]我记得我起来讲话，而听众里有这些大人物，那可太吓人了。我把放在信封里的论文扯出来，当时我仍然能看到我自己的手。手在哆嗦。一旦我把论文拿出来，也开始讲了，奇妙的事儿就对我发生了，自那以后总是发生。如果我在谈物理，我喜欢这东西，我就只想着物理，我不在乎我在哪儿；我不在乎任何事情，一切都进行得非常容易。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

我意识到我如今也在为某种新东西工作的那个时刻，是当时我在读量子电动力学的某种东西，我还读一本书，对事情有所了解。比方说，我读狄拉克的书，说大家有这些问题，无人知道怎么解决。我不很懂这本书，因为我心思不在上头，但书的结尾的最后一段说：“这里需要某种新想法！”看来我得其所哉！这里需要某种新想法，那么我就开始思考新想法吧。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

[对他以前的一位高中老师说]我记得的另外一件事，对我非常重要的，是那个时候你在下课的时候叫我等一下，说：“你在班上弄的噪声也太多了。”你接着说，你明白那是为什么，那是因为上课内容太乏味了。然后，你就从你身后抽出一本书，说：“拿着，你读这个，把书拿到教室后面去读，老老实实坐着，研究这个；等你知道了其中的某种东西，就可以说话。”因此，在我的物理课上，我对正在讲的东西不在意，却在教室后头只研究伍兹的《高等微积分》。正是在那里，我学会了伽玛函数、椭圆函数，以及在积分符号下求微分。靠这个窍门，我成了专家。

——Letter to Abram Bader, November 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, pp. 176—177）

[哥伦比亚广播公司]问我对纽约的学校体制作何想法，我说，我仅仅擅长物理学，我不知道纽约的学校体制，除了我在30年前上过的那个学校。我认为我的高中是很好的。那时候我们有五花八门的科学课程——高等数学、物理学、化学和生物学。有几个老师直接鼓励我，给我很好的建议，教我常规课程之外的特殊东西。我在高中过得很好。

——Letter to Miriam Cohen, November 1965

[对他姑妈说]你了解我为时已久，很高兴听你说话。你与我母亲是看着我长大的，从我毁了亚麻布毛巾，到妈妈担心我的实验室会不会把房子炸塌。

——Letter to Jesse M. Davidson, December 1965

（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 181）

[谈他父亲]他明白事理；他喜欢讲道理的头脑，他知道事情能凭思考得到理解。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我到了幼儿园，那很晚了——我6岁——那个年代他们有个事儿，是“编织”。他们有一种彩纸——方形的纸，纸上有若干5厘米的狭缝，平行的。你有5厘米的纸带。一个纸带当纬线，另一个纸带当经线。你得编织，搞出规则而有趣的图案。对一个小孩儿，那明显太难了。我得到了特别的表扬；老师很兴奋，也很吃惊。我搞出了复杂的花样——搞得正确，没有任何困难，但那对大多数孩子都太难，因此他们就不在幼儿园里玩那个了。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我父亲常常带我到“自然史博物馆”——那是个很棒的地方。我们看恐龙的骨头之类——那很棒！

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[讲他父亲描述冰川]他明白！就我父亲而言，非常重要的事情不是事实，而是那个过程——是万事万物的意义。我们怎么去发现；发现了这么一块石头，那能推论出什么？他把冰川描述得活灵活现，可能他说得不很对！那速度或许不是一年25厘米，而是3米——我不知道；他也不知道。但是，他横竖是要描述，描述得活灵活现，还总是讲出点门道。比方说：“我们把这些事情搞清楚，你觉得怎样？”

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈他妹妹，她也是一位物理学家]她会听到我们谈话，她会问我，我就为她解释。就她而言，事情不是那么直接。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

如果某事坏，或者我坏，我总是深感不安——我一直争做好孩子。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

算数很容易，太容易了。举例说，我10岁或者11岁的时候，有一天以前的那个老师叫我从一个班到我以前的那个班去，去向全班同学解释怎么做减法。我“发明了”（他们说的）一个较好的办法，用来做减法，比她喜欢的那个正在用着的办法更好。她忘了，所以当时我被喊去，也为她解释那个办法。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈他的朋友伯纳德·沃尔克]我有个朋友，和我一样对科学感兴趣，因此我们在一块儿做了很多事——当时我大约12岁。我们一起研究，我们一起争论，我们做化学实验。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我体育不好。这总叫我烦——我觉得我像个娘娘腔，因为我不会打棒球。在孩子气的年龄，我觉得打棒球是一桩严肃的事业。学骑自行车我也有麻烦……每过一段时间，我就被一伙玩伴踢出去。我有个玩具小屋，每次我被踢出去，我就在那里发明点儿东西，如为小屋装一个潜望镜，或者为小屋设计第二层之类。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我们把亚铁氰化钠——亚铁氰化钠？——也可能是别的，倒在毛巾上，还有另外一种物质，一种铁盐，多半是明矾，倒在肥皂上。这些东西混在一起，就成了蓝色墨水。因此，我们就去愚弄我妈妈了，你懂的。她会去洗手吧，然后把手擦干，她的手就变成蓝色的。但是，我们没想到毛巾会变蓝。这都是锡达赫斯特年代的事儿。她简直是吓坏了，大叫："我那上好的亚麻毛巾啊！"但她总是陪我们玩。她从来不害怕那些实验。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈沸水]我记得显影盘，它涂了蜡，因此它就绝缘，用显影盘装上水，烧开——观察最后的最漂亮的现象：水都蒸发了，只剩下最后一点儿，显影盘很干，那一点水制造火花，因为它把电路弄断了。火花乱转，因为它断在这儿，但水是会流的，你知道，水流到这儿把电路接上了，于是它就在这里搞出了另一个火花，最后是一缕一缕的盐，是漂亮的黄蓝色的火花！那是个非常漂亮的东西。其实，在这么多年后，现在你让我想起这个事儿，我想我会去玩一下，看看那是什么样子。我以前总是用这东西烧水。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我有了好些麻烦，因为我记得我的朋友和我——那人在黑板上写（我还记得，你知道，他要解释一个映射系统是怎么工作的，能把画面打在墙上的投影仪）——于是他画了一个灯泡，然后他画了一个透镜，等等，来解释。然后他画了一些线，从那只灯泡那里平行着出来，光线互相平行着走。因此，我不记得是我还是我朋友，反正我们中的一个

说：“但那不可能对啊。光线是从灯丝辐射出来的，向四面八方。”我不知道我是否用了“辐射”这个词，但我们横竖是解释了。他转过身来说：“我说那是平行的，就是平行的！”哎哟，我们不服气啊，因为我知道，肯定地知道，无论他说什么，光线就是不平行着走。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈大萧条]我也有一种态度，就是你应该干点事儿，得工作——你知道，游手好闲，无所事事，这个想法有些……感觉某种要挣钱的责任感哈。我没法解释这个。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我总保持这个本事，就是用数学快快地工作，以便赶紧把作业弄完。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我对“一般的智力理论”知道得不多，但我确实记得，小时候我是非常偏科的。我单单喜欢科学和数学，对文科不感兴趣（爱上了一个有趣而聪明的人，她喜欢弹钢琴、写诗等，则另当别论）。

——Letter to Dr. William L.McConnell, March 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 281）

我从这些书[海特勒和狄拉克]中的那些说法中得到了灵感；我得到灵感，不是因为其中的一些部分把每件事都仔细证明和计算了，而是因为我不能把那些部分理解得很好。在年轻的时候，我不能理解的东西，是那些关于那个事实的说法，好像没一点道理啊，我仍然记得狄拉克那

本书的最后一句话："某种在本质上全新的物理学概念，在此刻似乎是需要的。"因此，我把此事视为挑战，视为一个启发。我也有一种个人的感觉，因为他们对我想解决的那个问题拿不出一个令人满意的答案，我就不必对他们以前做的事情太多注意了。

——From Nobel Lectures, Physics 1963—1970, Elsevier Publishing Company, 1972

在13岁的时候，我转而采取了非犹太教的观点。

——Letter to Tina Levitan, January 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 234）

[谈原子弹工程]你瞧，我的遭遇，我们其余人的遭遇，是我们蛮有理由地就干开了，但接着我们就卖力地干某种事儿，要把它干成，那是个乐子，令人雀跃。

——UCSB talk, "Los Alamos from Below", February 1975

Family
家庭



我有一座舒适的房子，我们一家住在其中。

——Letter to professors Gilberto Bernadini and Luigi A. Radicati（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track,* p. 209）

你给我的漂亮照片，使我愉快而惊讶，照片如今在我办公室里。非常感谢你。我把它带回家，给我儿子看（他12岁），他很兴奋。我问他那是什么——沉思片刻后，他说：“多半是激光衍射图样，激光来自一

些方孔构成的一种规则模式。”他可真了不起啊！我恐怕得问问他所用镜头的焦距！

——Letter to Sheila Sorensen, October 1974

我爸爸告诉我的另一件事——我不很能解释，因为那不是讲故事，而更是一种感觉——说对于全部的圆，无论多大，圆周与直径的比总是相同的。那不是太明显啊，但那个比值有些神乎其神的属性。小时候，关于这个数字，有某种神秘的东西，我不大理解，但这是一件了不起的事情，结果是我到处寻找π。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

他很像我，因此我起码把万事万物皆有趣这个想法传达给了另外一个人。当然，我不知道那是不是件好事儿，你明白吗？

——*Omni interview*, February 1979

[与一位父亲谈儿子]你们两个——爷儿俩——应该在晚上散着步（不带目的，随心所欲地），谈谈这个，聊聊那个。因为他老爹是一个智慧之人；这个儿子嘛，我认为也有智慧，因为他们的意见与我在身为人父的时候是一样的。父与子的意见当然不会严丝合缝，但老人那种更深刻的智慧，可慢慢引起年轻人的注意和兴趣。耐心些嘛。

——Letter to Mr. V.A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 415）

[谈他儿子]他说话没完没了。他或许能荣获诺贝尔谈话奖。

——*South Shore Record*, October 28, 1965

关于我与报界见面，我读到你的评论，你不曾提到我的小男孩看起

来多么乖巧、多么有趣，我很吃惊。你那算是谦虚吗？

——Letter to Dr. Richard Pettit, MD, the doctor who delivered son Carl, November 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 186）

[给一位父亲的建议]迈克的物理得了一个C，不必太生气。我的英语文学也得了一个C。如果我的英语好些，我或许就得不到物理学奖了。

——Letter to Arnold Phillips, November 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 185）

[与一位父亲谈儿子]你就由着他吧，让他尽情去搞他最感兴趣的那些乱七八糟的研究吧。确实，我们的学校体制给他的分数不会太高——但他会有出息的。那比蜻蜓点水地知道一大堆事情好得多。

——Letter to Mr. V.A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 415）

我研究过无数问题，你或许会说那都不上档次，但我自得其乐，感觉良好，因为有时候我能部分地把事情搞成。

——Letter to Koichi Mano, February 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 201）

我们买了一辆新房车，到处开。我们喜欢在沙漠那类地方野营，车上到处装饰着费曼图。

——BBC interview, “Scientifically Speaking”, April 1976

[谈他父亲]我长大了一些，他就带我到树林里走，指给我看鸟兽之类。他给我讲星球和原子，以及其他各种事情。他告诉我事儿究竟是怎么个事儿，那很有趣。他对世界有一种态度，有一种看世界的方法。我

觉得，对一个不曾直接受过科学训练的人而言，他那一套在科学上是深刻的。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

我父亲教我崇拜π；教我对π有讶异感。他喜欢π，因为居然存在这么一个怪异的比率，那是一个关于圆的如此简朴的一件事。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

[谈他父亲]他一直在看东西。他常说假如我们是火星人，我们来到地球上，看到有些生灵在做事儿，我们会怎么想？举个例子，他会说，假定我们从不睡觉。我们是火星人嘛，但我们的意识一直起作用，发现这些生灵一天睡8小时，合上眼，变得不大活跃。我们就有一个有趣的问题问他们。我们会说："你们一直干的那个事儿，是什么感觉呢？你碰巧知道吗？你们好好地东跑西颠，你们想得很清楚哈——发生什么事儿了呢？他们是突然就停下来的吗？他们是逐渐地慢下来，然后停摆了，还是一下子把思想的开关给关掉了？"后来，我为此思考了很多，我在大学也真做过实验，试图发现那个问题的答案——当你入睡之际，你的思想遭遇了什么事儿？

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

不曾与别人的父亲有过交往，我没有意识到我父亲有多么了不起。他怎么知道科学的那些深刻的原理？他怎么知道爱科学和科学背后的东西，以及为什么那是值得做的事？

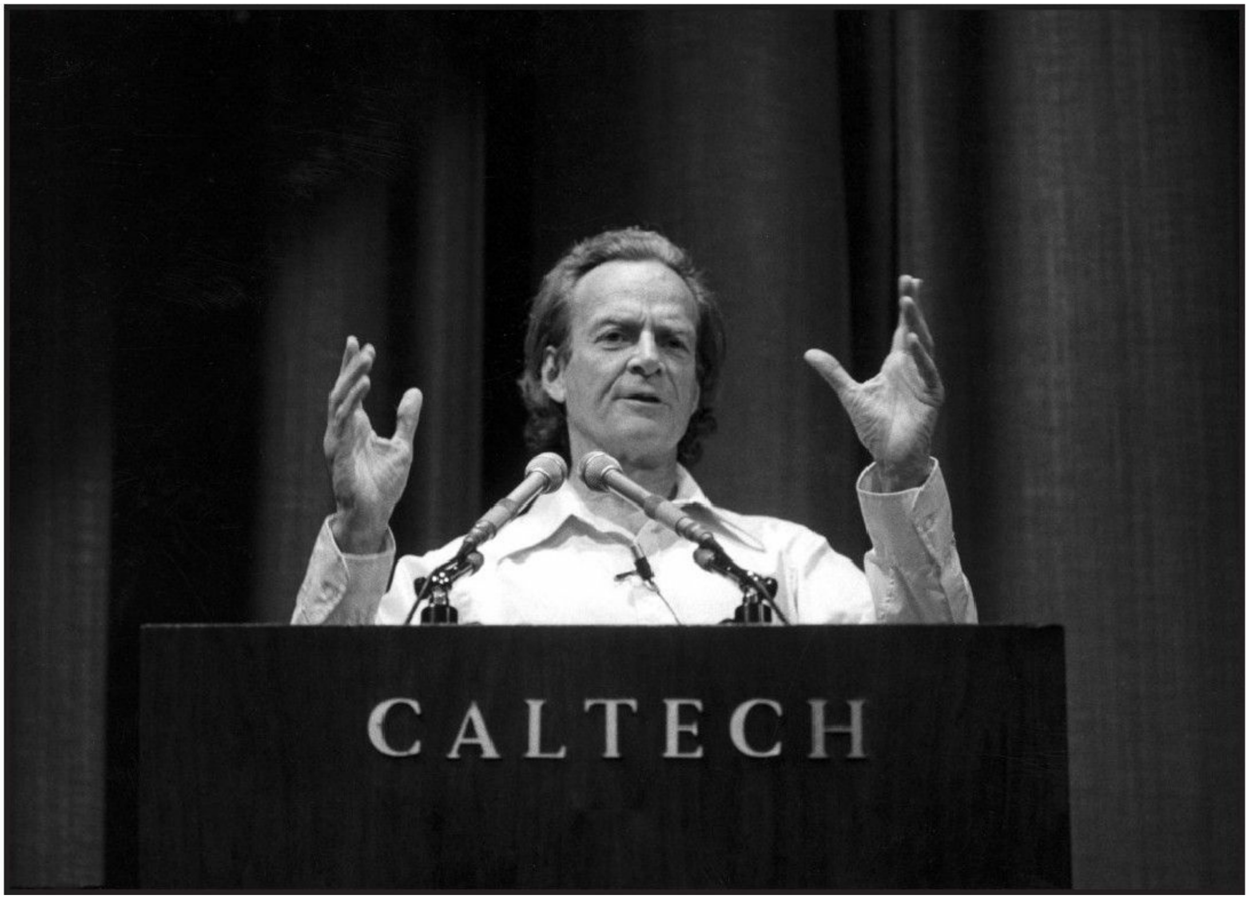
——*What Do You Care What Other People Think?*, P. 14, Classic Feynman, p.16

[谈他父亲]在我出生之前，他对我母亲说，这个男孩会成为科学家。如今，在妇女解放运动面前，这话说不得；但在那年月大家就那样说话。但是，他不曾要我当科学家。他让我当科学家，方法是在我很小

的时候，就给我讲事儿。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

Autobiographical
自传



在加州理工学院的研讨会上讲课，1978年5月

加州理工学院提供照片

有些人说：“不知不识，何以能活？”我不知道他们是什么意思。我总是活着，不知不识，那很容易嘛。你怎么知道什么事儿，那是我想知道的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It*

All, p. 2）

我记得我做过的研究，在普林斯顿得了一个真正的学位；我还记得一些家伙在那个平台上得到了荣誉学位，什么研究也没做——我就觉得“荣誉学位”是对“确认某种研究已经被完成的那种学位”这想法的一种贬低。那类似于颁发一个“荣誉电工执照”。我发誓，有朝一日假设有人碰巧要给我一个，我就不要。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 233

我做的研究，没有秘密的。此事国际上都知道；我的研究是用书信传递的，来来往往的，也用全世界的刊物传递。

——Interview for Viewpoint（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 422）

请充分认识到，那对我不是一个深刻的原则问题，因此如果我的辞职为你导致了任何很大的难处，那就放心地不要理睬我的意愿。但是，在你那群鸟里，将会有一只非常特异、悲伤而不情愿的鸟。

——Letter to Dr. Detlev W.Bronk and the National Academy of Sciences, August 1961（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 109）

早晨拿起报纸，看到上面的文章写的是你自己，尤其是文章写得又好又恭维，那是最有趣之事，也最能看清你自己。

——Letter to Dr. Irving S.Bengelsdorf（*Los Angeles Times*），April 1967

我一般在大约20分钟之内什么也不干，然后我才把锁打开，你知道的。哈，这次我立刻就把锁打开了，看到一切正常，我就坐上20分钟，这对我的名声有利：开锁可不那么容易啊，我也没有什么窍门。然后，我出来了，你知道，出了一点汗，说：“开了，你们进去看看吧。”诸如

此类。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975，regarding his hobby of safecracking

为了卖力干某件事，你必须让你相信答案就在那儿，因此你就会在那儿卖力地挖，对吧？因此，你暂时让你自己有个偏见或者固执，但在你心底里，你一直在笑。科学是不带偏见的，忘掉你听到的这个说法吧。此刻，在访谈中，谈的是大爆炸，我没有偏见，但在我工作的时候，我有的是偏见。

——*Omni interview*, February 1979

[在讨论计算金星的位置之后]我不知道玛雅人的哲学。归咎于西班牙征服者破坏的彻底性，以及，那个，主要是他们的神父，把全部书都烧了，我们的信息很少。他们有几十万册书，只有三本幸存世上。其中的一本，有关于金星的计算，我们这才知道这件事嘛。设想把我们的文明缩减为三本书——事故偶然留下的三本具体的书，那会是哪三本？

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

我是一个老古板式的人物。

——Letter to professors Gilberto Bernardini and Luigi A. Radicati, February 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 209）

老朋友应该互相告诉对方自己在干什么。

——Letter to Morrie Jacobs, November 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 179）

但是，无论你怎么办，我才不在乎。我知道，我才不会费心去发现

你怎么办它，因为在我看来，如果我办那件事，我办就是了。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

有意思的是，如果有一种判断真相的独立方法，人类的关系就能够免于争吵。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 22）

但在那些年月，我不曾认为理论物理学是一个可分的领域——物理学仅仅是理论中的任何东西。你知道，因为我的数学天分最终压倒了我的实验天分。我通常是到处玩，但玩得越来越少，分析得越来越多，是数学的分析，正如这些定理和这些论文，因此我成了搞理论的，而没搞实验。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我认为，抵制接受过多的不重要细节和鸡毛蒜皮，是很重要的。倒洗澡水，而避免把婴儿泼掉，那是需要某种智慧和技巧的。否则我们思考的东西就太多了，不能把我们有限的心智集中在重要问题上。

——Letter to Mr. Jim Barclay, January 1967

在保密状态中工作是很难的；有一种精神分裂症，牵扯这么一种感觉：你必须记住什么是你知道的但不可说出去的事情。结果使你踌躇不前，害怕言多有失，直到你对某些题目张口结舌，因为如果你开始谈论一个你听说有些秘密的题目，你就害怕说任何话，担心那是秘密事情中的一件。因此我不喜欢秘密。

——Interview for Viewpoint（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p.

[谈哲学]迷住我的，不是哲学，而是虚浮。但愿大家都自嘲一下。

——Omni interview, February 1979（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 195）

我发现，判断人们的“优点”在心理上是非常叫人反胃的。

——Letter to Dr. Detlev W.Bronk and the National Academy of Sciences, August 1961（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 108）

我的悲哀是科学让我看到一种深刻的美，而少有其他人看到。

——Letter to Mrs. Robert Weiner, October 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 248）

我疑心有大批别出心裁的人，能和我一样对付你提到的那些难题，他们目前是干了其他的，从营销经理到罪犯。

——Letter to Jarrold R. Zacharias, Laboratory for Nuclear Science and Engineering（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 82）

[谈曼哈顿工程的经历]委员们可以提出一大堆想法，每个人都考虑到了一个新的方面，还得记住别的伙计们说了什么；因此，到最后，决定是根据最好的看法做出的——把一切做了归纳——不需要说上三遍。看到这么个搞法，我深受震撼。这些人真是非常了不起。

——“Los Alamos from Below”，1976

我喜欢翻翻你们的杂志《科学与儿童》，但我必须回绝你的稿约。我发现，与为此类杂志写文章相比，我的才能不如排队跳舞，不如当护花使者。

——Letter to Diane Ruth（*Science and Children*），June 1966

因此我就拿定了主意，如果那仅仅是一个荣誉学会，我就不当荣誉学会的会员。如果这种玩意儿确实干真事儿，那还好说。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈《别逗了，费曼先生！》]我把全部这些故事讲给一个朋友听。我没想跟任何其他人讲，因此没有润色，也不担心那看起来多么愚蠢或聪明，不担心我在故事里是自命不凡还是像个白痴。那无所谓。我是率性而发。然后，拉尔夫有了个想法，要把故事都写下来，他就稍作编排，仍然显得像是我在说话。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

现在我是油尽灯枯了，我什么事儿也干不成，我在大学有这么一个不错的位置，教我最喜欢的课，就像我喜欢读《一千零一夜》一样，纯为乐趣。我要玩物理，什么时候想玩就玩玩，才不为有没有重要性操心。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.173, Classic Feynman, p.190

我对表演这营生不那么在行，但我们要看看会发生什么事儿。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 12, November 7, 1961

我知道我反正会当科学家。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

事情确实不那么难；疯狂地冒险，就是一个乐子。我在生活里找点乐趣，有时候怪事儿就落在我头上。

——Letter to Mary Bowers, November 1960

穆莱凯会高兴知道我在这里和最漂亮的“明星”之一坐在一起，起码是我见过的最漂亮的。很明显，水牛城的酒吧比布鲁克林的海军造船厂附近的红辣椒和水手更泼辣。

——Letter to Bert and Mulaika Corben, 1948

巴西人对我的葡萄牙语印象深刻，其实课是用他们所谓的“费曼式葡萄牙语”上的。

——Letter to Professor Joe Keller, September 1949

[关于做谈话节目的请求]见鬼了，我们彼此非常了解啊，我的意思是我不觉得我喜欢脱口秀。

——Letter to Dr. Victor F.Weisskopf, April 1962

我开车去的第一个早晨，印象太深刻了。美丽的景色，对一个不怎么旅行的东边人来说，真是大饱眼福啊。那儿有万丈悬崖，你或许见过那些照片，细节我就不说了。这种情景是在平顶山上看到的，你是从下边上来的，然后看到那些万丈悬崖，真令人瞠目结舌。在我往上走的时候，给我印象最深刻的东西，我说，印第安人或许在那儿住过，开车的伙计干脆把车停了，走过弯道，那里真有印第安人的洞穴，你可以参观。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我就到宿舍区，去领分配的房间，他们说，你可以挑房子了。我得选一间；你知道我怎么办的？我在看女孩们的宿舍在哪儿，然后我挑了一间正对着她们宿舍的房间。后来我才发现，我那房间前面，正好有一棵大树。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

好了，住在这宿舍的单身汉和单身女，觉得他们也得有个帮派，因为公布了一条新规定，比方说，“妇女不得留宿男宿舍”。哈，这绝对是荒唐嘛！毕竟，咱都是成年人！这是扯的什么淡啊？我们一定要采取政治行动。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

跟特勒这样有高超智力的人恶作剧，有个麻烦：从他琢磨出好像有什么事不对劲儿，到他明白了真正发生了什么事之间，时间太短，你都来不及乐一下！

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我忘不了夏威夷。我看着我的旧潜水面罩和手套，渴望与哈诺玛湾的鱼们再亲近一番。

——Letter to Dr. San Fu Tuan（University of Hawaii），September 1973

除了评估委员会的人之外，我还遇到了一些非常了不起的人物，我在洛斯阿拉莫斯见到了他们。有很多了不起的人，见到所有那些非常有趣的物理学家，是我一辈子最令人兴奋的经历。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我确实知道每个事物全都有趣，只要你钻研得足够深。在事物的名字与实情之间，是有区别的。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

那或许仅仅是我这个人喜欢特立独行。

——Letter to Dr. Detlev W.Bronk and the National Academy of Sciences, August 1961（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 108）

保持我出版的东西不失水准，是我的原则。

——Letter to Alladi Ramakrishnan, January 1962（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 130）

请相信我：我对宣传或者忽悠人不感兴趣。我们都同意，我们只对在科学上正确的东西感兴趣。

——Letter to F. Harrison Stamper, February 1962

词语可以没有意思。如果措辞马虎，弄不出什么精确的结论，就像在我的那个“呜穆法”的例子中那样，那么那些词陈述的命题，就几乎没有意义。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 20）

有人或许说，咱假定你一开始就相信我以前说的某些事儿是真的，因为我是一位科学家嘛，而按照这本小册子的说法，你知道我还得了奖什么的，你就不看我的那些观点本身，不就事论事地判断。换言之，你知道，你对权威有某种感情。我今天晚上要把你这种感情废掉。我要让这个课程致力于显示：我这么一个人，就是我本人，能够搞出些什么样的荒唐结论和稀奇说法。因此，我希望毁灭权威以前鼓捣出来的形象。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, pp. 61—62）

在我所知甚少的许多事情中，有一桩是一个人应该如何让自己准备好，以便当理论物理学家。

——Letter to Eric W. Leuliette, September 1984（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 369）

一个普遍的定理，一个某种特殊例子，这二者之间必有一种相似的东西。其实，我个人认为——人是不同的；有人抽象思维非常好——我不行。我第一次听到某种事儿，我总是不得不弄些例子来理解，然后我从例子中搞出普遍的东西。其他人喜欢普遍的东西，然后用它对付具体的东西。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

我不做实验，从来没做，我仅仅是瞎混。我造收音机和小机器。我瞎混。逐渐地，通过书和手册，我开始发现有可用的公式，比方说，电流和电阻的关系。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

此事的结果是我记不住任何人的名字，当大家跟我讨论物理的时候，他们常常很恼火。他们提到“菲茨—格洛宁效应”，我问“这是什么效应？”我记不住名字。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

我喜欢物理这门课，试图与任何有理解力的头脑分享理解物理的快乐，无论男女，一直是我的渴望。说这个人或另一个人理解物理学的能力有所不同，我从来不相信任何这种道理。

——Oersted Medal acceptance speech, 1972

抱歉我不能推荐你为“尼尔斯·玻尔奖章”的提名；但是，永远不推荐或者批评同事，一直是我的原则。

——Letter to Mr. Bjorn Andersen, February 1976

某一天我将确信存在一种对称，人人都会相信它；第二天我将琢磨如果那不对，会有一些什么结果，大家都疯了，但我不疯。

——*Omni* interview, February 1979

我不知道我正给大家留下什么印象。那或许仅仅是我的性格吧，我不知道。我不是心理学家或者社会学家，我不知道怎么理解人，我也不理解我自己。

——*Omni* interview, February 1979

程序说这是一场主题演讲。我听说我要发表主题演讲，我就打电话问："那是什么意思啊？"他们说，那是午餐后的演讲，我说"不好"。他们就改到了现在，但他们没改名称，我还是不知道什么是主题演讲。我不曾以任何方式暗示什么东西应该是这次会议的主题之类。我有我自己的东西要说、要讲，我没有话里有话地说任何人需要谈相同的东西，或者任何哪类东西。

——MIT conference, May 1981

全部这些事情我都不懂——深层问题、深刻问题；然而，物理学家们有一种糊里糊涂的方法，能躲避全部这类东西。

——MIT conference, May 1981

某种新思维是必要的，但物理学家，作为某种脑子不灵的人，仅仅看自然，不知道如何思考这些新路数。

——MIT conference, May 1981

我从来不想"这是我喜欢的，那是我不喜欢的"，我想"这是事实，

那不是事实”。我喜欢不喜欢，其实无关紧要，我把喜欢不喜欢从我脑子里撇出去了。

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

我将不能以我惯常的方式说话了，因为我说得太快，所以我不得不讲得慢些，我也没有时间讲得太多。

——“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

你告诉他们有些人以前常常相信巫术，当然如今没人信巫术，你就说：“人以前怎么能信巫术呢？”然后你四下看看说：“哦，我们现在相信什么巫术呢？我们现在做什么仪式呢？每天早晨我们刷牙！有什么证据说明刷牙对我们的口腔有好处？因为地球沿着轨道转，白天和黑夜之间有一条边界，在那条边界上，所有人——在那条边界上，大家都刷牙，那也没有什么好理由。正如在中世纪，当时的人搞其他仪式，你就趋向于把这条刷牙者的永恒线看成绕着地球转。”

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

物理的乐趣，在我看来，是真相被揭示得如此非凡、如此奇妙。我有这种病，另外许多人造诣很深，开始对事情是如何运行的稍有理解，我们都被物理学迷住了，这种迷恋指引他们到了如此程度，他们一直能说服政府不断地支持他们，来搞人类发明的这种研究。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

我试过许多不同的方式，来理解物质的宇宙。

——Letter to Richard D. Farley, August 1975

[一位同事建议他写自传，他说]其实你的建议很怪，好比在我的帽子里放了一只蜜蜂，我希望它在让我动笔之前我就死了。

——Letter to Dr. Erik M.Pell, March 1976

以全新的方式思考事物，是我最大的乐趣，我很高兴地发现我把同样的快乐传染给了你。

——Letter to Dr. Frank Potter, November 1984（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 371）

你问我对人生作何想法等，好像我有某种智慧似的。碰巧了，或许我也有智慧——我当然不知道我有没有智慧——我知道的全部事情，是我有些看法。

——Letter to Mr. V.A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 413）

关于KNXT电视台对我的采访，谢谢你的信。我对雾霾和其他许多东西，包括使用最好的英语，非常无知，这一点你是非常对的。

——Letter to Raymond Rogers, January 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 209）

在一个国家里，人不那么有知识，知识分子是很能吓唬人的。那种吓唬所采取的形式，是华而不实的研究与华而不实的言辞，讲的那些观念是相当简单的，或者空洞无物。如果有人说他们不理解某个观念，就会遭到白眼。对那些对自己的智力不非常自信的人而言，这是非常严酷的。

——*U. S.News and World Report* interview, February 1985

我能在压力之下写东西。其实我只能在压力之下写东西。

——“Joy of the Chase”, The Daily Telegraph, July 5, 1988

我怎么样？两个漂亮的仙女和她们的助手突击队员，五体投地地伺候着我，然而我却必须马上回到这里来教课。我多不容易啊。

——Letter to Mariela Johansen, January 1975

我妻子和我认为我疯了。

——Letter to Mariela Johansen, January 1975

如果你像其他每个人那样走相同的方向，你前头就有一大群人。

——CERN talk, December 1965

面对全部刚好相反的明显证据，那些人长年累月地坚持说男女具有相同的理性思维能力，是不是有点固执呢？

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

我决定永远待在加州理工学院。那些家伙兴奋地跑来告诉我他们的发现；离开他们，我受不了。

——*The Daily Times*, October 5, 1966

我知道，在我的生活中，同学兄弟会是很重要的事情。我知道这个——我是说，只要是社交的事，就重要——因为，尽管社交很难，但兄弟会逼迫我社交。不社交，是容易的；社交很可怕，不社交是容易的，但他们确保我能社交。他们教我跳舞。因此，过了一阵子，我的自信来得相对快一些了。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

［谈英语课］是的。我现在看不出我为什么为拼写担心。毕竟，你怎么拼写某个词？假如我把一个词拼错了？（下面是我的态度——那就是当年的态度。）我就犯了一个拼写错误。那意味着什么？那意味着这种倒霉的语言没道理。那就简直是一个愚蠢的拼写方法。某个伙计应该搞出一点进步来嘛。但愿那些英语教授们坐下来，琢磨出如何把拼写的问题捋顺，而不是一直教这号愚蠢之物——他们没有进步感，没有发展感；科学和其他事情就不这样。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

［谈大学课程］我一直竭力强调我在人文学科上的努力，是一直千方百计地利用科学，以便躲避人文学科。我斗争到底，斗得很苦。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我表达自我的那种方式居然能引起敌意，我想不明白；我确实表达自我，仅仅是这个事实，倒是可能引起敌意。

——Letter to Bill Whitley（KNXT），May 1959（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 101）

物理世界是真实的，我对数学很痴迷，但那其实不为数学本身——你知道我是什么意思？数学叫人神魂颠倒，但我真正的心思在别处。我就决定，我必须把双手弄脏，我受不了这些抽象的东西。我就转到电器工程，因为那儿有真东西。但是，随后几个月，我意识到我走极端了，在这两者的中间地带——是物理学，那是个合适的地方。因此我转悠了一阵子后，到底是学了物理。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我去了一个科学的学校，麻省理工学院。学生联谊会嘛，在我刚入伙的时候，如果你自以为聪明，他们就试图让你觉得别那么自作聪明，手段是问你一些貌似简单的问题，让你努力琢磨事儿其实是怎样。那像是训练想象力，某种乐子。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我总是努力自己做事，因为那样我或许可以学到某种东西，可能得到一个不同的观念。我从来不眼珠子向上看。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

事儿其实是这样：我搞的那些会议记录，从来百无一用，我在会议上就不再记那么多了。

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

你们已经弄到很多空间，但不人浮于事，事儿看来就应该不赖啊！无论怎么说，你们干了事儿，你们也别忘了你们有卢瑟福，因此事儿不错。

——On life in New Zealand, “QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

好，我会为你写一篇关于“能量”的文章。然而，你提议给我225美元的稿酬，外加25份我写的这个词条的拷贝，我不要；等到这个百科全书出来了，我宁肯要完整的一套。

——Letter to Warren E. Preece（Encyclopaedia Britannica），January 1970

大家常常以为我装模作样，但我一般是诚实的，某种方式的诚实

——那种方式嘛，常常谁也不相信！

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.41；*Classic Feynman*, p.42

我的才能，不包括在“国际关系”中争着抢着做广告。

——Letter to Clarence Streit, January 1966

任何含糊其词的理论，不完全荒谬，在每个方面都可以用更加含糊其词的说法拆了东墙补西墙，那就导致前后不一致了——如果我们一开始就相信谁的话，而不相信证据，我们就会陷入可悲的状态。

——*Feynman Lectures on Gravitation*, p. 22

于是我毕业了。我不得不穿学位服，好毕业啊。我还记得他们逗我，说普林斯顿不知道自己招到了个什么东西——普林斯顿是一个优雅的学府，你知道，而我是个粗人，诸如此类。我真不为此担心，但我态度认真，你知道，普林斯顿有某种优雅，那确有其事，而我并非优雅之人。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我还行，但说到社交，我是那种粗笨的角儿，那种简单的家伙。但我不为那个操心。我还有几分为此骄傲呢。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我是什么样子，我像个什么？——此事常叫我忧虑。因此，我在麻省理工学院的时候，我摆脱了这种忧虑。但是我有理由说，在常见的成长过程中，就这种打架斗殴之类的事而言，我敢说我理解一点。但无论怎么说，我在麻省理工学院确实是变了，我的性格，我对女孩的恐惧，

我那稚嫩而胆怯、莫名其妙地感到不安全的性格，消失无踪了。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我相信，虽然我不敢保证全对，我身为大学生得到的大多数教育，是通过自学，通过对问题费心神，通过与朋友谈话，很少通过听课。在那年月，事儿就是那样的。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

在麻省理工学院的时候，我读了很多东西。我解释不了何以如此。我忘了为什么。我泡图书馆。我读高级的书。那是我自学的方式，我读了好些东西——我贪婪地阅读、研究、学习。我读过广义相对论，那是我从一本书里知道的，我还和维尔平（Welpin）一起读了很多有关量子力学的书，读的全是这种东西。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

对那种看世界的方式——科学的方式——我抱有很大的信念。现实是什么？要搞确定，不要胡搅蛮缠。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我会讲一个逗乐的故事——过后你可以把它扔掉，明白吗？我终于来到伊萨卡，在两点或者半夜吧。我下了火车，把行李箱擎在肩膀上，一如既往。然后我说：“且慢，你都教授了啊，你好歹得有个教授派头嘛。”一个脚夫问我：“我能拿你的箱子吗？”“不用，我自己扛。”然后我意识到：我必须开始一种有尊严的生活。于是我就让他把行李拿到出

租车那儿，我相当优雅地坐在出租车后排座上，那伙计说：“去哪儿？”我说：“城里最大的旅馆，请吧。”

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

你知道，我是个偏科的家伙。我理解也喜欢科学，但有很多学术领域，我实在不感兴趣，像文学、心理学、哲学等；这些学科，以科学方式搞，就另当别论。我是非常偏科的。我不是一个心胸宽广的家伙，仅仅在科学中很宽广，但太沉迷于科学，并且故步自封。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我不喜欢非技术性的问题。那都不是我喜欢的玩意儿。对那种东西，我就是感觉不良。因此，我不很扯那种问题，我也不怎么出主意。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

关于和平利用核能设备的安全问题，有人咨询我。我当时设想在“通用电器公司”设计那么一个设备。他们找我，其理由当然是因为我在洛斯阿拉莫斯做过安全问题。因此我觉得，为了在商业中和平利用核能，如果你知道这些事情，你应该帮帮忙。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我是一个很复杂的人。我的意思是：我有五花八门的旁门左道，数量无限。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

鲍勃·威尔逊（Bob　Wilson）进来了，说他得到了资金，要做一个事，那是秘密的，他不应该把这个事告诉任何人；但他来告诉我，因为他知道一旦我知道他要干什么，我就必定会要入伙。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times*Magazine, April 20, 1986

但是，我做过的不道德的事，我会说，是我忘了我说我做那件事的理由，因此当那个理由变了——德国战败了——我丝毫都不想那件事了，如今我必须考虑为什么我还要继续做那件事。我干脆不想它了，好吧？

——*No Ordinary Genius*, p. 58

理论物理是人类的一种努力，是人类较高发展的一项成果。证明研究物理的人是凡人，方式是展现他们也能干其他的事儿，如打小手鼓，这个说法对我是一种侮辱。

——Letter to Tord Pramberg, January 1967，regarding photos in a physics book of Feynman drumming（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 230）

你知道，你真的必须充分认识到，在这些学校里，在这里，我全部的困难——真正的问题，是缺乏供应。或许那很好，因此我有的是时间为基本问题操心，然后我才把自己淹没在高级的东西中。我得不到书。图书馆没有微积分的书。等到图书馆有了这种书，在一个星期之内，我就借走了——我是第一个借这种书的家伙。那是城里第一本微积分的书。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

那也是你为之操心的事情——那些女孩会认为你是个娘娘腔。有苦说不出，那就是生活嘛。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

身为一个自命不朽的荣誉团体的一员，我不愉快。

——Letter to Dr. Detlev W.Bronk and the National Academy of Sciences, August 1961（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track,* p. 108）

打从开始，我们就有一些极端重要的秘密。我们搞出了关于铀的许多东西，它怎么工作，全部这些东西都写在文件里，文件在文件柜里，文件柜是木头造的，木头柜上是微不足道的那种一般的挂锁。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我确实记得一个时刻。我穿着睡衣，在撒满地板的纸上鼓捣东西，这些模样奇怪的图是可笑的，还有线伸出来。我自言自语，假如这些图真有用，别人也开始用，《物理评论》也不得不印这些愚蠢的画儿，那岂不可笑？

——*Omni* interview, February 1979，regarding the Feynman Diagrams

它是放射性的；它是钚。我们站在这房间的门口谈论它。这是一种人造的新元素，以前不曾在地球上存在过；在起初可能存在了非常短的一段时间，另当别论。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我必须解释一下，我是科学家，但不意味着我不曾与人类有过接触嘛，普通的人类。我知道他们是什么样子嘛。我喜欢到拉斯维加斯，跟搞表演的女孩和赌徒聊天，诸如此类。我一辈子到处嘚瑟的事儿太多了，因此我了解普通人。

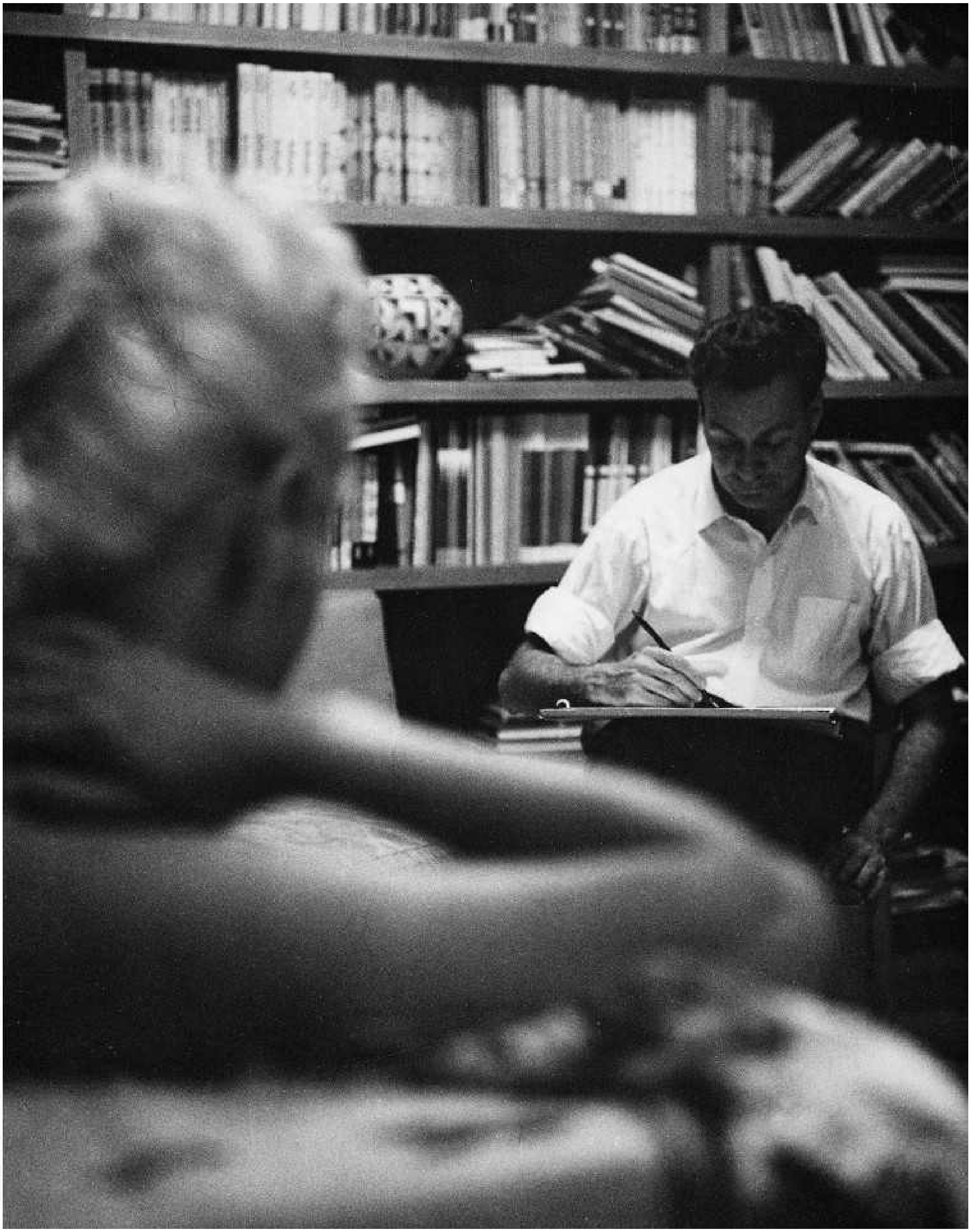
——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p.

76）

[有人问他是否想读读已经为他准备好的讣告]我断定一个人提前读它，不是一个很好的主意；那会把惊讶的成分搞丢了啊。

——*Los Angeles Times*Magazine “The Cult of Richard Feynman”, December 2, 2001，p. 16

Art, Music and Poetry
艺术、音乐与诗



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

我到底是明白了艺术是干什么的，起码在某些方面。它给某人，单个的人，带来快乐。你能制造某个东西，某人如此喜欢，他们因此就忧郁，或者就高兴，全赖你制造的那个鬼东西！在科学中，那是某种一般而广大的东西：你不认识直接赏识它的那些人。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.267, Classic Feynman, pp.305—306

更奇妙的是真实，那是以往的任何艺术家想象不到的。为什么现在的诗人不讲真实？如果木星或称朱庇特是一个人，诗人就讲它；但是，如果它是一大团旋转的甲烷和氨气，诗人就必须不吭声。诗人算是什么人啊！

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 1, pp.3—6

如果你说这是一个科学时代，意思是科学在艺术、文学和人们的态度与理解等当中扮演一个好大的角色，那我就完全不认为这是一个科学时代。

——"The Unscientific Age", John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 63）

我认为学校里的大多数孩子是非常成熟的。因为我知道学校里的一些学文学的朋友——你知道，那些写东西的人——以及我那些写剧本的朋友，他们会读伟大的剧作。他们不读儿童剧，你知道。任何在高中有任何长项的学生，已经知道他们必须看真东西。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我有一位艺术家朋友，他有时候持有一种观点，我不很同意。他会拿起一朵花说："看，它很漂亮。"这个我同意。但是，他随后说："我身为艺术家，能看到一朵花是多么美。但你呢，作为科学家，把它分解

了，它就无趣了。”我认为他是某种不开窍的货。首先，他看到的美，其他人也能看到嘛——我相信，我也能看到。虽然我在审美上或许不如他那么精细，但我也能赏识花的美。但是，与此同时，在这朵花中，我看到的比他多。我能想象它内部的细胞，细胞也有一种美。不仅在一微米的尺度上有美，在更小的尺度上也有美啊。细胞有些复杂的行为，还有其他过程。花的颜色，进化出来是为吸引昆虫来授粉的，这个事实是有趣的；那意味着昆虫能看到颜色。那就又来了一个问题：我们的审美感觉，在低级生命形式里也存在吗？从科学知识中带来了五花八门的有趣问题，这只能为我们增加对花儿的兴奋、神秘和惊叹。科学有所增益。我不理解科学怎么会克扣。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 2；*Classic Feynman*, p.13；*What Do You Care What Other People Think?*, p. 11

我非常想学画画，理由只有我自己知道：我想表达我的一种感情，关于世界之美的感情。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.261, Classic Feynman, p.299

文艺复兴时期的艺术家们，说人主要应该关心人，但世界上还有其他有趣之事。连艺术家也欣赏西沉的太阳、大海的洪波、横驰天穹的星阵。这就有理由时不时地也谈谈其他事情。

——*The Character of Physical Law*, p. 13

巴西的小手鼓，在我看来，从来不是“音乐”——我不识谱，对正经的音乐一无所知——搞出带节奏的噪声，本就是乐事。从学术意义上说，它不涉及那么多“学术”。

——Letter to Dr. William L.McConnell, March 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 281）

有人想要我的画儿，是因为那些画儿是一个物理学家画的，那我就抱歉不能寄一幅画儿给你了，这是我的原则。

——Letter to Dr. William L.McConnell, March 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 282）

奥登（Auden）先生的诗，仅仅坐实了他对自然的奇妙无动于衷，因为他本人说，他想更清楚地知道“我们求知”到底有什么用。我们求知，我们才更爱自然嘛。

——Letter to Mrs. Robert Weiner, October 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 248）

我们时代的愚钝，早有人大为哀叹，那种愚钝只能由艺术来减缓；有科学而无艺术，肯定无能为力。艺术和诗能提示心灵有美存在，而且逐渐把生活搞得更美。

——Letter to Mrs. Robert Weiner, October 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 248）

许多可能的视角，并不明显地等同，这也是艺术的伟大性的一个迹象；这个念头，我从来没想到。

——Letter to Jay A. Young, August 1966

科学的价值，仍然不曾得到歌唱家的颂扬，因此你就只剩下听了——不是听一首歌或一首诗，而是听一场关于科学的晚间讲座。现在仍然不算一个科学时代。

——“The Value of Science”, December 1955，*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 145

我打鼓这个事实，与我搞理论物理学这个事实，是丝毫关系也没有

啊。

——Letter to Tord Pramberg, January 1967，regarding photos in a physics book of Feynman drumming（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 230）

[谈诺贝尔奖的研究工作]大部分的研究工作，是在特柳赖德那个地方完成的，那里的气氛清静而安宁，确实如此——清静和安宁，我一直试图用丛林鼓点将其驱走。

——Letter to Erik M. Pell, November 1965

人类的心灵进化成这个样子，它是从动物进化来的，它按照某种方式进化，就是说，心灵像任何新工具，天生地有毛病和难处。心灵有其麻烦，麻烦之一是心灵会被自己的迷信污染了，迷信把心灵自己搞迷惑了；这个发现最终搞出了一个方法，让心灵遵循一贯的路线，如此才能在某个方向上取得一点进步，而非在一个圈子里打转转，或者把自己逼进窟窿里。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964，*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 103

Nature
自然



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

诗人说科学把美从恒星那里赶走了——仅仅是一团一团的气体原子。我也能在沙漠的夜晚看那些恒星，也能感受之。但我能看得更少，还是更多？天穹之广袤，伸展我的想象力——粘在地球这个旋转木马上，我微弱的视力能抓住一百万年前的光。一个宏大的模式，我是它的一部分……这模式，或者说这意义，或者说这个所以然，是什么？对此稍知一二，对神秘感是没有害处的啊。

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 1, pp.3—10；*Six Easy Pieces*, p.59

我对诗人的那些说法，从根本上说，不意味着抱怨现代诗人对现代物理学不感兴趣——而是意味着他们对400年来科学家所揭露自然的奥妙不曾表现出赏识的感情。

——Letter to Mrs. Robert Weiner, October 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 248）

物理学家试图发现自然如何行为。

——*Omni* interview, February 1979

物理学当然是宇宙的核心，但愿我们从物理学中向外看，看看我们周围都是什么……

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961

如果你想在空气中烧毁一颗钻石，你能——但你是某种傻瓜啊。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 1, September 26, 1961

但是，那表明这么一回事：如果我们充分扭曲几何学，那么说全部引力都以某种方式与伪力或称假想力有关系，是可能的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 12, November 7, 1961

小尺度上的事情表现得丝毫不像大尺度上的事情。此事把物理学搞得艰难，也非常有趣。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

自然，就事论事地说，似乎经过了设计似的，真实世界中最重要的事情显得是许多规律产生的一种复杂的事故。

——Character of Physical Law, p. 122

科学创造的世界观是有价值的。世界有美和妙，通过这些新科学的结果而得以发现。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”April 1966

原子核很小。原子的直径是10^{-8}厘米，核的直径在量级上就是10^{-13}厘米。此为何意？如果你有一个原子，你想看到核，你就必须把它扩展，把它放大，因此整个原子的大小就像这屋子，而核就是一粒微尘，你的肉眼刚刚能看到——直径是1厘米的百分之一。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

生物与生命，如此密切。关于生物的深度化学的普适性，确实是一个令人想入非非的漂亮之物。我们人类一直都过分骄傲，这才认不出我们与动物有亲戚关系。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 12）

很容易表明：假设自然是非相对论的，那么如果事情打从开始是那样的，就会一直那样，因此问题将退回给“创造”本身，只有上帝知道那是怎么办成的。

——Dirac Memorial Lectures, “The Reason for Antiparticles”，1986

对一种成功的技术而言，事实必须优先于公关，因为自然不受愚弄。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 169；*No Ordinary Genius*, p.218

在这个星系里有很多恒星。如果你想为之起名，一秒钟起一个名，为我们星系的全部恒星起名——我不想说宇宙中的全部恒星，仅仅说此地的这个银河系——那将花费三千年。然而，那不是个很大的数。因为如果这些恒星都向地球抛下一块钱的票子，抛一年，每颗恒星抛一块钱，从美国的预算来考虑，恒星们要担心赤字了。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

[回答一个孩子的问题：“一个不可抵抗的力遇到一个不可动摇的物，则如何？”]它俩握握手呗。

——From notes for “About Time” program, 1957

我们制造的全部事情都是“自然”。我们把自然编排一番，迎合我们的目的。

——“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

我们把一个鸡蛋摔在人行道上：它就向四面八方溅开。另一方面，如果我们在人行道上有这么一片鸡蛋的杂碎，我们就不要指望它会凑成一个完整的鸡蛋，还要跳到我们的手里。因此，如果反转时间的方向，自然规律显得不同，此事是一目了然的。

——From notes for “About Time” program, 1957

在小尺度上写信息，生物学的这个例子启发我想到了一个事儿，那

应该是可能的。生物不仅仅写信息；生物做某种关于信息的事儿。一个生物系统可能小得厉害。许多细胞是很小的，但细胞是很活跃的；细胞制造五花八门的物质；细胞溜达；细胞扭动；细胞做各种各样奇妙的事——全都在非常小的尺度上。

——*There’s Plenty of Room at the Bottom*，1960

引力的起源是一个难题，叫我大为困惑，我认为我们完全没有把它理解透彻。

——Correspondence with R. I.Elliott on gravitation, January 1949

试图理解自然的工作方式，涉及对人类推理能力的一种最严酷的考验。自然的工作方式涉及微妙的窍门，涉及漂亮的逻辑走钢索——你必须走这种钢索，以免在预言何事会发生之际犯错误。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 15）

想象力频频探出头来，试图成就某种更高层次的理解，直到我突然发现我自己暂时孤独了，然后美妙而真正庄严的自然模式的一个新角落显露出来了。那是对我的奖励。

——From Les Prix Nobel en 1965[Nobel Foundation], Stockholm, 1966

譬如我孤身站在海边，开始浮想联翩，

海里有惊涛骇浪，分子构成了大山。

每个分子自顾自，分开了有万亿万，

一致行动就是白浪滔天。

亘古洪荒，在每一个能看到的眼前，

年复一年，洪波拍岸一如当前。

为了谁，又为什么？

在一个死寂的行星上，没有生命在看。

永不停息，受能量的催逼，

太阳如此挥霍，把能量泼向空间。

一只小虫让大海咆哮。

在大海深处，全部分子重复彼此的模式，

直到复杂的新模式出现。

它们制造了其他模式，和它们自己一般，

一场新的舞蹈开始表演。

个头和复杂性都在增长，

活的东西，是原子一团团，

DNA，蛋白质，舞蹈模式更麻烦。

从这个摇篮爬出来，爬上了岸。

就在这里，它站起身来：

原子有了意识，物质居然好奇。

站在海边，面对奇妙而觉得奇妙：

我，由原子构成的一个宇宙，

宇宙中的一个原子。

——The Value of Science, December 1955，*What Do You Care What Other People Think?*, pp. 243—244，*The Pleasure of Finding Things Out*, p.144，*Classic Feynman*, p.485

我们欣赏人类心灵，此事我们喜欢做，当此之际——我们所欣赏的，总是另一个人的心灵——我们应该抽出一点时间，让我们对自然发出惊叹；这个自然居然能遵从如此这般的完善性和普遍性，如引力定律那样优美而简洁的原则。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961

物理学定律有这种抽象的性格，是其特色。正如能量守恒是一个关于量的定律，你必须把那些量加起来，不用机器；力学的那些伟大的规律是定量的数学规律，也没有什么机器来发现这些规律。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961

[谈他父亲]他继续说，在世界上，但凡有任何某种资源，可以维持生命，某种生命形式就拐弯抹角地利用那种资源；连剩下来的一点点，也被某种东西吃了。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

我们从大量经验中知道：关于自然将意欲何为，全部的哲学直觉都失败了。

——*The Character of Physical Law*, p. 53

我们习惯于嘲笑古希腊人，他们声称行星必须走圆圈，因为圆是完美图形。如果他们是在现代讲话，他们将使用群论的论据，暗示说：从行星的观点看，太阳的样子总是一样的，或者说我们就有在某种组合时间位移和自转之下的不变性。但行星就是不走圆圈！自然是不“对称的”，问题是：为什么不？

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

自然只用很长的线编织她的图案，因此她的织物的每一小片，都显示整个织锦的组织方式。

——*The Character of Physical Law*, p. 34

自然看似巨大的复杂性，连同其古怪的规律和规则，每一条都为你仔细解释过了，其实是非常密切地交织在一起。然而，如果你不欣赏数学，在多样的事实中，你就看不到那个逻辑，那个逻辑让你从一个事实走到另一个事实。

——*The Character of Physical Law*, p. 41

我们看那些恒星：我们看到的全部的光，那些微小而流畅的光，跨越三光年（就最近的恒星而言）从恒星传来。一直，一直，一直走，来自那恒星的光散布开来，波前变得越来越宽，越来越弱，越来越弱，分散到全部空间中去；最终，那光的一小部分落进了3毫米的一个小小的黑窟窿里，那对我有作用，因此我知道那恒星在那儿。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

音乐的经验究竟如何，你能搞出来的全部学术论点，无法与聋子的耳朵交流。

——*The Character of Physical Law*, p. 58

从自然的一个部分，可能猜到其余的会怎样；自然究竟为何如此发生？这是一个非科学的问题：我不知道怎么回答。因此，我将提供一个非科学的答案。我认为，那是因为自然有一种简朴性，因此也有伟大的美。

——*The Character of Physical Law*, p. 173

总有另外一种方式，来讲相同的一件事；这种方式与你以前讲它的方式丝毫不相似。事情是这样，我不知道有何道理。我认为，不知道怎么的，那代表自然的简朴性。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

只要你能用几种不同的方式充分描述一件事，而不必立刻知道你正在描述同一件事，这件事或许就是简朴的。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

自然总像是一团乱麻，但我们走一程，就看到一些模式，然后把一些理论放在一起；某种清晰性就来了，事情变得简单一些了。

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 149

你能够知道某种鸟在全世界全部语言中的名字，但在你记住了全部那些名字之后，你对那种鸟绝对是一无所知。你仅仅知道不同地方的人类怎么叫那种鸟。因此，让我们看看那种鸟吧，看看它在干什么——那才重要。

——*What Do You Care What Other People Think?*, p. 14；*Classic Feynman*, p.15

拿来一只苹果，如果你把它放大到地球的大小，那么这放大的苹果里的原子大体就像苹果那么大。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 1, September 26, 1961

自然并不介意我们怎么称呼它，它仅仅自顾自地干着自己的事儿。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 1, September 26, 1961

完全不存在永久运动，这个事实是对能量守恒定律的一般陈述。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 4, October 6, 1961

如果你想谈论自然，你就要谈论某种复杂而肮脏的东西，因此起先是大约的东西，然后逐渐增加精确性。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 12, November 7, 1961

毫无疑问，自然比我们关于自然的全部想法要简单些。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”, 1972

我想发现的，不是自然可能是怎样，而是自然其实是怎样，看看什么是对的。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”, 1972

因此，事情能够是这样的：距离和时间似乎都会变，事物将叫人害怕、将惊扰人心，而且伪装一种时间感，那与你的时间感不一样，但这一切仅仅因为有某种东西遗漏了。存在另一种观点，时间和空间加起来了，这才产生出这种新感觉，但需要巨量的想象力，因为我们没有可资类比的此种经验。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

生物系统运动得那么快，假如那是寻常经验，那么毫无疑问，在大脑内部将进化出一种特别的布线方式，那种布线方式实际上不会要求我们学会相对论；相对论正确，将是一种内在的感觉。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

对相对论的这种相当琐屑的理解，在透视法被人理解的时候，早就可以被人很容易地就理解了；那个著名的传说，讲几个盲人摸象，你知道，他把象摸成绳子了，因为他抓着象尾巴，或者摸成树叶了，因为他抓着象耳朵，如此等等，这仅仅是同一个观念：事情依赖于你的观点。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

能是一个非常微妙的概念。它非常难以搞对。

——“What Is Science?”*The Pleasure of Finding Things Out*

大脑的一部分能将就着做很多“思考”和解释的事儿，我们还意识不到此事，也不能控制此事，这真不可信吗？或许不可信，但或许也可信。最简单的动物，如果它明白的话，必定能在这个水平上思考。

——On human and animal eyesight, in a letter to Edwin H. Land（Polaroid Corporation）， May 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 224）

光有重量，一个有限的重量，与光的有限质量成正比——既不是零，也不是无限。任何对象，在加速之际，就变重，直到它达到光速，它就比在它静止的时候无限地更重。但光永不静止，所以此论不适用于

光。在引力场里，光会下落，稍稍下落，看起来离太阳很近的那些恒星的形象（在日食期间）是移位了，因为那光不走直线，而是在经过太阳附近的时候，稍微向太阳弯曲，因为光会下落嘛。

——From notes for “About Time” program, 1957

世界是一个旋转的球，人从四面八方攀附在这个球上，有些人头朝下。在一团大火面前，我们就像一个烤肉叉那样转。我们围绕太阳转。那是更浪漫、更动人的。什么把我们笼络住了呢？引力啊，引力不仅是地球上的事儿，首先也是引力把地球弄圆了，也把太阳笼络住了，让我们一直绕着太阳跑，而我们一直试图抽身跑开。这种引力掌控局面，不仅在恒星上，也在恒星之间；引力把恒星笼络进一些很大的星系里，四面八方地延伸若干、若干千米。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 10）

相对论的原理，可以这样陈述：在一个封闭空间里，物体在其内部的运动，无论这封闭空间是静止的，还是一直在做匀速直线运动，都是相同的。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

生命的内部机制，即各部分之间的化学活动，是某种美的东西。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 11）

在我们这粗陋的眼睛看上去是静止的东西，其实是一场狂野的舞蹈。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It*

All, p. 12）

当我们明白科学观察是对于一个观念的真实性的终极裁判时，科学的全部其他方面和特点，可以得到直接的理解。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 15）

对自然的复杂性，对地球上的生命进化，如果你有任何充分的认识，你就能理解生命的可能形式，会是极端多样的。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963

（*The Meaning of It All*, p. 15）

关于时间的流动，我们的心理感觉，于是就转变成了和量有关系的一种确定的物理观念；那个量，我们可以精确地测量，我们也可以讨论相同的时间间隔。

——From notes for “About Time” program, 1957

因此，现在我们问宇宙有多老，此刻我们最好问宇宙的什么地方有多老。

——From notes for “About Time” program, 1957

问题是：两个事件，对我显得同时发生，对任何别人也显得同时发生吗？这个问题是这么一个问题：“现在”是否存在一个绝对的意义，因为现在就是发生在“此刻”的相同时间的全部事件。如果从你的观点看，居然另有一组不同的事件发生在“现在”，我们就必须说对我和对你而言的现在，是不一样的，也没有什么绝对意义。

——From notes for “About Time” program, 1957

你对自然有如此深刻的兴趣，你很幸运啊；等你对自然了解更多的时候，即便你发现理解自然要比你本来设想的复杂得多、困难得多，但在某些方式上自然也比你想象得更简朴而优美。

——Letter to student Charles E. Tucker, April 1967

你们都知道科学的一些妙趣——我不是在对普通听众讲话——因此，我就不想再次拿出一些关于科学世界的事实让你嘚瑟起来；我们都是由原子构成的，时间与空间极其浩瀚，我们的历史地位是一系列不同凡响的进化过程的结果，我们在进化序列中的位置，进一步说我们的科学世界观的那个最不同凡响的方面是这种意义上的普适性；关于这些事实，虽然我们说自己是专家，其实我们不是。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我们的知识其实是普适的，这个事实不曾被大家完全认识；理论的地位是非常完善的，我们去搜寻反例，我们发现反例很难找到——起码在物理学中是这样——全部那些机器和仪器之类，破费巨大，就是为了发现我们已经知道的东西有没有什么例外情况。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

关于介子和基本粒子，你有什么想法吗？我的介子理论观念，仅仅是现象的观察，或者是对电动力学孩子气的修正。与使用赝标量场理论相比，大自然肯定有更好的想象力。

——Letter to Professor L. Landau, November 1954

在经典物理学中，有另外一个东西，你可以测量，那是像速度的那么一种东西——其实它叫动量：它是速度乘以质量，它告诉你某个东西

如何优雅地滑行。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

因此，或许就来到了一个时代，当时某个物种，学习效率得到增长，到了一个相当的高度，突然之间一个全新的事儿发生了；一个动物可以学会事情，还传给另一个，再传给另一个，传得足够快，族群就忘不了。因此，族群的知识积累就变得可能了。这有时候被称为“时间捆绑”。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

有了族群的记忆力，有了积累起来的知识，可代代相传，此乃世界上的新现象。但其中有一种病，有可能把错误观念传下去。有可能传下去一个观念，而这个观念对人类种族是不合理的。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

接下来，躲避这种病的方法被发现了。这是要怀疑那些往昔传下来的东西事实上是不是真的，要试图重新从经验中发现情况是怎样，而不相信以祖传形式存在的那种往昔经验。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

树是空气构成的，主要的是树被烧了，重返空气，在火焰中热被释放了；太阳的热被树束缚了，把空气转变到树里；灰烬是并非来自空气的那部分东西的微小残余，那是从固体的土壤里来的。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

我对与经典理论和谐相处的全部分析都不满意，因为自然不是经典的，如果你想制造自然的一个模仿品，你最好把它搞成量子力学，而且托老天爷的福，那是一个有趣的难题，因为那看起来不那么容易啊。

——MIT conference, May 1981；“Simulating Physics with Computers”, International Journal of Theoretical Physics 21（1982）：467—488 at 486

这个属性（波长）有一个广大的范围，一个现象的范围，那就是这个完整而巨长的光谱。肉眼能看到这个光谱上的一段非常狭小的范围，全部放在一块儿，符合整个电磁波的理论。我要讲光谱的那个部分，我准备称之为“光”，而不说“电磁辐射”。光，我们所见之物，仅仅是一小部分，但物理学家的观点，是说人类的眼睛碰巧敏感于从这儿到这儿的波，这是偶然的，无关乎本质。现象是相同的——那是整个的范围。

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

如果你想知道自然的工作方式，我们就高兴地看它，那就是那个方式的样子！你不喜欢它？那另找个地方吧——到另一个宇宙去，在那儿规则是比较简单的！

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

我们欣赏人类心智，我们必须也应该同样敬畏自然；自然遵循完整性和普适性，如引力定律那种优雅而简朴的原理。这个定律是怎么说的？宇宙中的每个物体都互相吸引，引力与每个物体的质量成正比，与其距离的平方成反比。

——In personal notes

那些司空见惯的东西，那些一直得到观察、显得一目了然的东西，

在这个世界里，是迥然不同的。事情原来是这样：我们原以为一目了然的东西，是错误的，那是更复杂的——或者也并不更复杂，却仅仅是不同！其实，有时候它更简单，也更漂亮。

——“QED：Electrons and Their Interactions”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

最有弹性的东西，如钢制的弹簧之类，无非是这种带电的东西要扯回去：在你把东西弯曲的时候，你把那些原子扯得稍微分开，然后原子就试图返回去凑在一起。但是，橡皮带的工作原理不同。有一些很长的分子，像链子；还有另外的小分子一直在颤抖，轰击那些链子。链子弯弯曲曲。当你拉开橡皮带，里面的那些绳子似的东西就伸直了一些。但这些绳子在侧面遭到其他原子的轰击，想把那些绳子缩短，手段是让绳子卷曲。因此，橡皮带就扯回去，它试图扯回去。它扯回去，仅仅因为热！

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我一直发现橡皮带令人着迷。想想，橡皮带一直放在一摞纸上，放很长时间，它把那些纸粘在一起；之所以这样，是因为原子不断地砰砰砰地撞击那些链子，想把链子弄卷曲，长年累月地这么弄。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我们过分习惯于环境了；在环境中，这些电现象都隐而不彰，万事万物是某种中性状态，推推搡搡、拉拉扯扯，表现得呆滞无聊，但自然拥有奇妙之事：磁力和电力。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

你必须把你的观念与自然对照；自然告诉你对或者错。自然产生现象，现象需要解释。你不能鼓捣你自己的假设，然后分析其推论。

——Letter to Mr. Robert Bonic, January 1974

[谈引力定律]这个定律的知识，就我想到的而言，其唯一的用处，是地质勘查，是预报潮汐；现而今，有更新式的用处，那就是搞出卫星和我们放出去的行星探测器的运动，诸如此类。最后，也是新式的，是计算行星位置的预报，这对占星学家有大用，他们在杂志的占星术专栏里发表预言。我们身处一个怪异的世界中——知识上的全部新进展，只用来延续胡说八道，存在了两千年的胡说八道。

——*The Character of Physical Law*, p. 27

天文学比物理学更古老。其实，天文学推动了物理学，借助于展现恒星和行星运动的那种美妙的简朴性，理解这种简朴性乃是物理学的开端。

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 1，p.59

我认为自然的想象力大大超过人的想象力，自然永远不让我们松口气！

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

全部天文学最不同凡响的发现，是恒星是由地球上的同类原子构成的。

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 1，p.3

当然，人类也为许多其他目的而求知，搞战争，搞商业，帮助贫病的人，等等，各种有价值的动机。这些明显的动机及其结果，诗人确实理解，也为之写诗。但是，敬畏之感，奇妙之感，快乐与热爱，都是诱发动机，去了解生命世界和无生命世界里的自然之道，整个地（因为那两个世界是一个）很少在现代诗歌中得到表达。在文艺复兴时期，人们

可是一直知道自然值得欣赏。

——Letter to Mrs. Robert Weiner, October 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 248）

看看自然的一个片段，怎么就可能猜得出另一部分必定是什么样子呢，你以前不曾见识过另一个部分啊？仅仅在现代，人确实能猜到自然在某些情况中会干什么，而人以前不曾看过那些情况。

——“Strangeness Minus Three”, BBC，1964

这个宇宙得到了许多描述，但宇宙自顾自地走，其边缘不为人知，正如古人对无底的大海的看法，他们也不知海底何在——神秘莫测，令人敬畏，正如以前诗意的描绘。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 10）

我喜欢科学，因为当你思考某事，你可用实验检查之：自然说“是”或者“非”；然后你就从那儿继续走，就进步。要把“真”从“假”里扒拉出来，科学之外的智慧没有什么同等程度的确定方法。

——Letter to Beata Kamp, February 1983（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 356）

我们习惯于从生物的观点看世界，结果我们理解不了活着是什么意思，但在绝大部分时间里，世界上没什么东西是活的。今天，在宇宙的大多数地方，也多半没什么东西是活的。

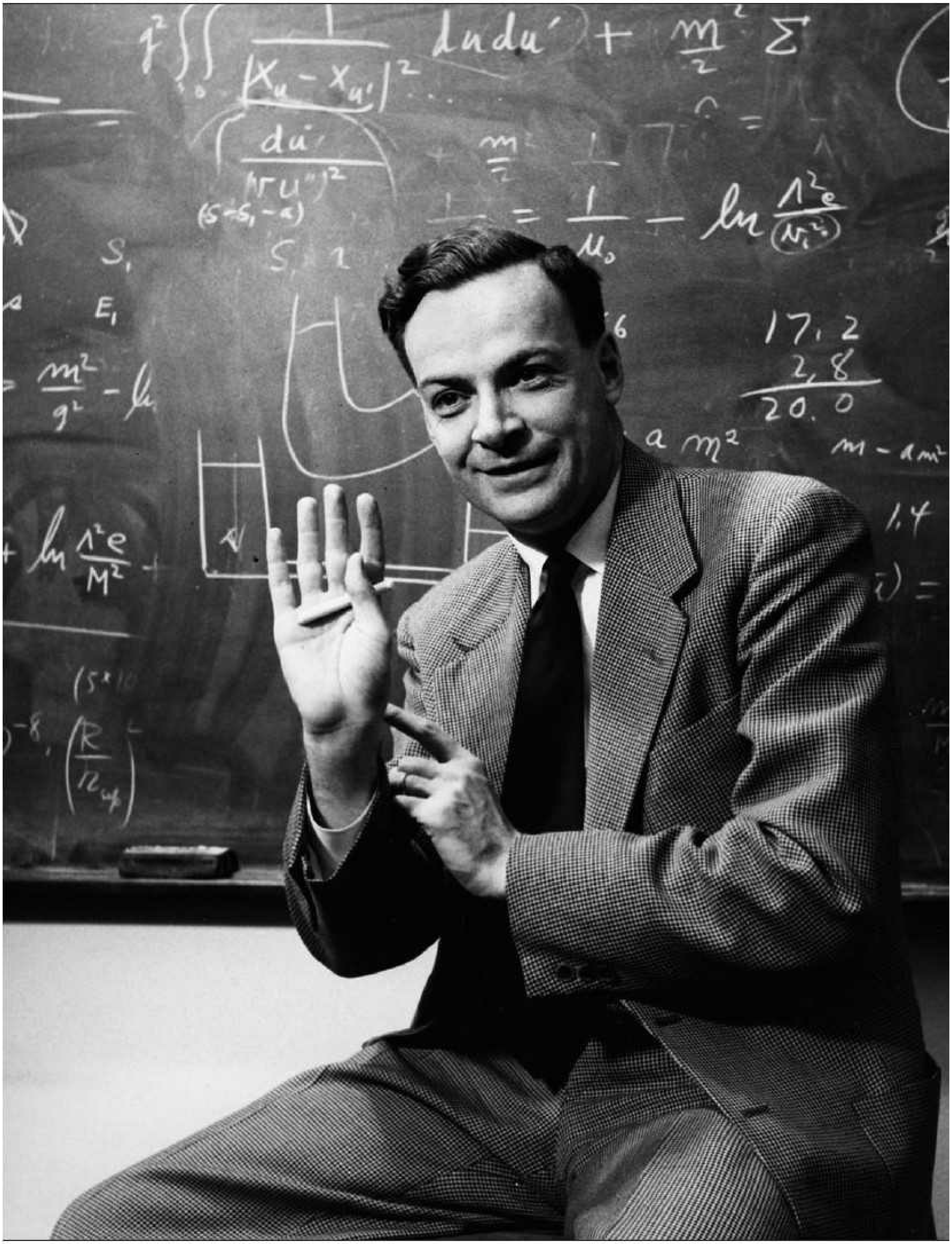
——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 11）

什么玩意儿把你搞得如此自信，你认为关于核力之间的相互关系这

一发现，会如此有趣？我们何以知道那种关系就不会是某种复杂、脏乎乎或者简单的东西？我们不知道。我们横竖是一如既往地尝试。我们不确知。冒险是值得的，因为它非常可能是特别的；如果它是特别的，它就会非常有趣。

——“Strangeness Minus Three”, BBC，1964

Imagination
想象力



理查德·哈特（Richard Hartt）摄影

加州理工学院提供照片

我不知道为什么有些人觉得科学乏味而难学，而另一些人发现它好玩而容易，但科学有一个特点，我从中得到了很大的动力，那个特点是科学需要好多想象力，来琢磨世界其实是怎样。

——*No Ordinary Genius*, p. 125

我不想低估从科学努力中得来的那种世界观的价值。我们一直受科学引导，设想全部种类的事物比以前的诗人和梦想家所想象的东西更神妙。科学表明自然的想象力远远比人的想象力更伟大。

——“The Value of Science”, December 1955，*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 143，“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 10）

大家认为，在中世纪人们仅仅做了一些观察，那些观察结果本身就暗示规律。但是，只观察是不管用的。实情需要更多的想象力。因此，下次我们必须谈谈，新观念来自何处。其实，只要有新观念就好，管它哪儿来的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 21）

令人惊讶的是大家不相信科学里有想象。那是一种非常有趣的想象，和艺术家的想象不同。最大的困难是想象某种你不曾见过的东西，它要在一切细节上与已经见过的东西不矛盾，它还要和已经想到的东西不同；除此之外，它必须是确定的，而非一个含糊其词的说法。那确实是难啊。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 23）

我玩的游戏，是非常有趣的那种。那是想象，穿着紧身衣的想象，那是这样的：它必须与所知的物理定律相融洽。

——*No Ordinary Genius*, p. 98

我发现我自己一刻不停地想象各种各样的事情，我从此得到了一种动力，正如跑步的人把流汗视为一种动力。我从思考这些事情中得到动力。我停不下来！

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我用科学来思考。用科学来思考的难处之一，是它花费太多的想象力。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

天文学的好大一部分是想象。哪种结构，哪种东西，或许可能发生，以产生我们所见的那些星体的那种光和效应，等等，猜测是必然的。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

在科学中，根据某个定律的全部已知的知识，有许多次，利用想象，你想象到了某种可能的东西，但你不知道那是不是真的。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我们必须想象，从另外一个观点来看，事情可能是怎么样的。那种观点或许是我们向来不能采取的。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

关于细致的实验，关于许多思想，需要用心地研究，以便把我们的想象力提高到这个地步，以便看到这一点。若非如此，我们或许也会很好。比方说，如果我们进展很快，那么我们或许就能相当直接地看清全部这些事情。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

对我而言，除非我要研究一个神秘现象，那么把神秘留在神秘状态中，而不装模作样地假装我知道它的答案，是更加有趣得多的事情。

——*No Ordinary Genius*, p. 18

如果你能告诉我的全部东西只是昨天发生了什么，知识就不会有什么真实的价值。如果你做某事不仅必要，而且好玩，你就有必要告诉我明天会发生什么事情。只是你必须愿意伸着脖子向前看。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 25）

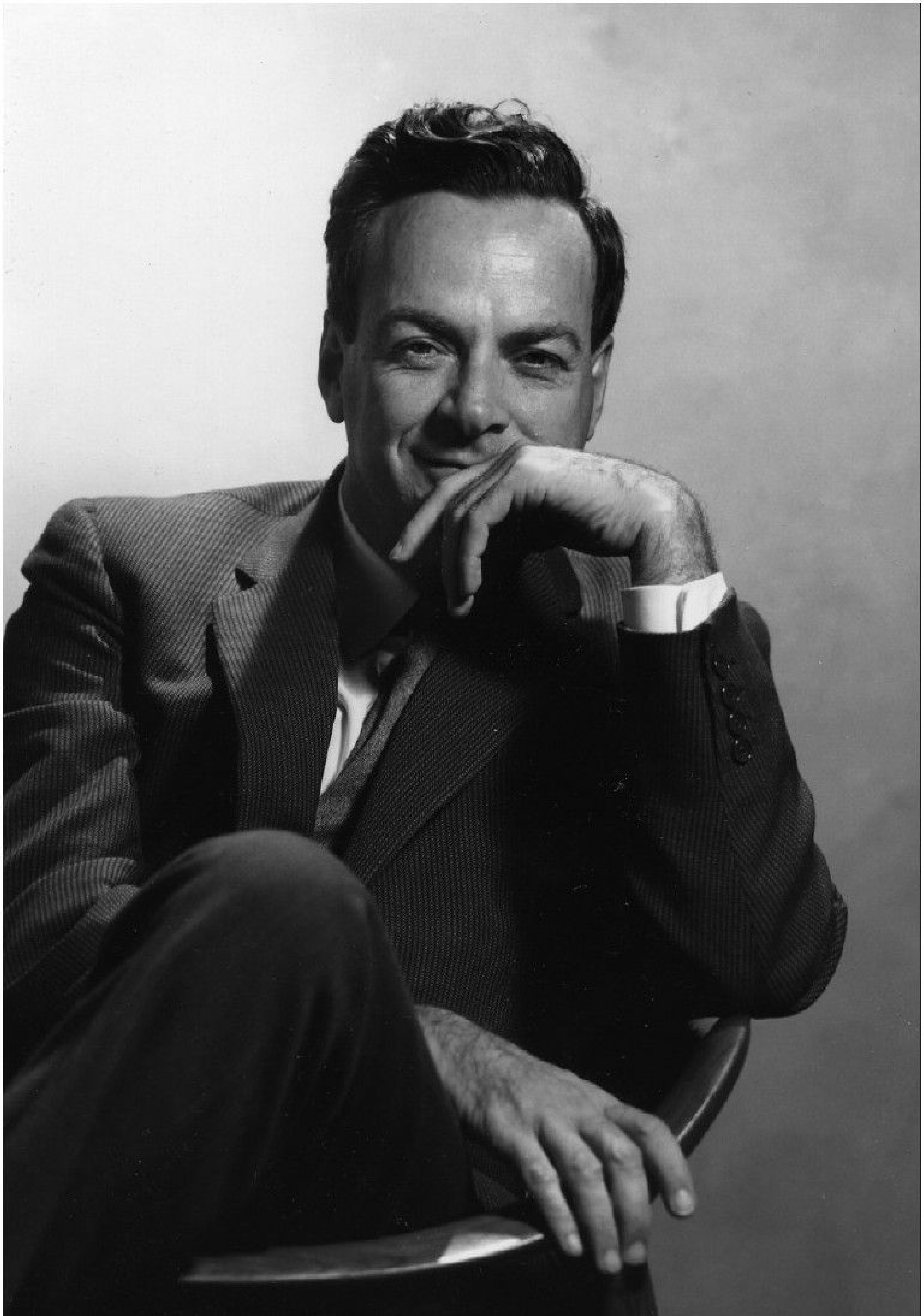
我们的想象力被扯到了极限，不是在科幻中想象子虚乌有，而是仅仅为了理解真正存在的事情。

——*The Character of Physical Law*, pp. 127—128

我必须在某个地方停下来，留下某种事情，给你想象！

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

Humor
幽默



费曼标准肖像，1965年，哥本哈根的克莱门斯摄影

加州理工学院提供照片

我是费曼教授，居然也穿西装。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 97

一位诗人，说得蛮有道理，

整个宇宙在一杯葡萄酒里，

我认为我们不知他是什么意思——

因为诗人不写你能懂的东西——

但如果你凑近看一杯酒，

你确实会看到整个宇宙。

物理的东西应有尽有：

光的反射，液体的颤抖，

我们的想象，外加原子。

它蒸发，那指望风和天气。

那玻璃是地球岩石的升华，

在玻璃的构成中，正如我们所知，

是宇宙年龄的秘密，

是恒星的演化奇迹。

酒里有一大批什么化学物质？

它们怎么偏就存在于此？

有酵母，有酶，

有基质，有产物。

而在酒里，我们发现了那个伟大的概括：

全部生命是发酵。

你也发现不了酒的化学，

如果你不像巴斯德那样

发现许多病的原因。

这酒有多么鲜红，把自己的存在，

压进了观看这酒的意识里。

如果我们渺小的心灵，出于某种方便，

把这杯酒，把这宇宙，分得很细——

物理、生物、地质、天文、心理，以及别的——

心灵还应记得：宇宙不知条分缕析。

因此我们应该把分开的再合起来，

还不要忘记，到最终，合起来是为什么。

合起来是为给我们最终的愉快：

别管条分缕析，把酒喝了吧！

——*Feynman Lectures on Physics*, pp. 3—10；*Six Easy Pieces*, p.66

尽管我母亲对科学一无所知，她对我影响也很大。特别得说，她有一种奇妙的幽默感，我从她那里明白：最高形式的理解，是笑，是人类的同情。

——*What Do You Care What Other People Think?*, p. 19，*Classic Feynman*, p.19

如果我在某个地方必须穿无尾晚礼服，我妻子就不相信我真会接受邀请去讲话。有好几次，我确实打了退堂鼓。

——*Omni* interview, February 1979

听说你认为这个节目很好，我很高兴，但非常叫人惊讶的，是我了解到我有一种“专业路数”。什么专业啊？电视戏子？哎呀，我知道的全部东西，都是我从导演那儿学来的。你说的“专业路数”，意思可能是说我那作派像是一个钢制的垃圾桶吧！

——Correspondence with Philip Daly（BBC），August 1964

谢谢你邀请我出席将于11月30日召开的“颜色、风味与统一会议”。因为你提到的年份是1975年，还要为我的机票付钱，我可否设想我们在通过《事业》杂志做一次穿越往昔的旅行呢？无论怎么说，我接受。

——Letter to Dr. Gordon Shaw, May 1979

[在画箭头的时候]这些箭头，名叫振幅，因此我或许会说振幅，而

不说箭头。那仅仅是个词儿，我们可以随心所欲地用任何词儿，刘易斯·卡罗尔的书《爱丽丝梦游仙境》里就是这么说的！

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 2）”，October 1984

在这个星系里，有10^{11}颗恒星。人们原以为这个数不小。但是，其实却有一千亿颗。可那比美国赤字少！我们习惯于把它们叫作天文数字。如今我们应该称之为经济数字。

——*Feynman Lectures on Physics, Six Easy Pieces*

关于飞碟的报告，是已知的地球人智力的那些非理性的结果，而不是地球外的智慧的那种不为人知的努力的结果。我认为事情多半是如此。

——*The Character of Physical Law*, pp. 165—166

但你可以充分明白化学家们的难处，也可以充分明白名字为什么那么长。那不是因为化学家固执，那是因为要用词儿来描述这个事儿，他们有一个极端困难的问题。他们为什么不总是画画儿？我不知道。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 1, September 26, 1961

那有什么毛病呢？那是做事情的一种非同一般的方法啊：首先做一个大胆的猜测，然后检查。只你一个人检查。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 8, October 20, 1961

每个来听科学讲座的人都知道，他们不是去理解它，而可能是讲话的人有一条花里胡哨的领带，真好看。你们不是这样哈！

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 9

除非你清楚地知道你要谈什么，而且大体知道你会怎么说，否则你就永远不要打算开报告会。

——Notes；*Pleasure of Finding Things Out*, p. 216

对那些需要证据来证明物理学家是人类的人而言，证据存在于这么一种蠢行中：他们用那么多不同的单位来测量能量。

——*The Character of Physical Law*, p. 75

如果我们抬头看天：对许多古人而言，天显得像是一个穹顶的表面，上面有一些光点。天倒可能是一个壳子上面有许多光点，这个看法并不一目了然地发疯。直到出现大量的天文学观察结果，才有了这个想法：我们看错了。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

理论物理学最大、最重要的工具之一，是废纸篓。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 234

我彻底吃了一惊，当时他说："我本想告诉你，你得了奖。""得奖？"我说，"得了热狗啊！"你明白吧？因此他说："听到一位严肃的科学家那么说话，热狗哈，很有趣。"我说："听着，你打电话给任何严肃的科学家，说他得了15000美元，他会提到热狗。"

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

当然，广播跟空气没什么牵扯。没有空气，你照样可以广播。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

全部这些粒子在云室里其实是鸡爪子痕。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961, Q&A

如果你在这里看不到引力作用，你就没有灵魂！

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961

古希腊人不知怎么把自己搞糊涂了——当然，他们得到了一些非常能使人糊涂的古希腊人的帮助。

——Audio recording of Feynman Lectures on Physics, Lecture 8, October 20, 1961

我是一个十足的俗人，所以我告诉你滚到地狱去吧。

——Letter to Tord Pramberg, January 1967，regarding photos in a physics book of Feynman drumming（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 230）

我一直在思考如何教育那些搞宇宙学的人，（1）还能在1969年4月1日写给你第25章的稿子；（2）还能对着一台磁带录音机说话，你可以从这一堆乱说中扒拉出东西；（3）希望你别再烦我，你个龟儿子。出于前两项，向你致以最好的祝愿。

——Letter to Allan Sandage, February 1969

我来到东部，东部落后，我总有这个印象。我们在西部，如果屋子里这么热，我们会安装空调。

——“Current Algebras and Strong Interactions”，1967

[在麦克风失灵之后]现在，我预言：下次我得到这种麦克风的概率，是非常低的！

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

在你努力工作的时候，有一些时候，你会这么想：“我到底是发现了那在数学上是前后矛盾的！”但你很快就发现了自己的错误，正如我最终也发现了。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 63

[在记者招待会上，站在三个麦克风前]为什么是三个麦克风？这很荒谬啊。如果你们需要三个，为什么不从一个麦克风里引出三根线？

——Press conference, April 23, 1963

我得到了这些恭维，你们得到的全部东西，是类似这种说法，“没有傻瓜评论家问你不着边际的问题”之类。大多数人（即便从事这一行）也少有人知道那其实是怎么办成的。他们全都相信我不得不制造的那个幻觉，是我张着嘴，说话一小时。像全部真正的艺术一样，艺术家消失了，那看上去自然而奇妙。

——Correspondence with Christopher Sykes（BBC），March 1983

我的工作日程是非常新的，我一定不要延迟阅读别人的理论；那东西或许真的有趣，那样我就去寻思其他事儿。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 317—318

有一个事儿，我认为理论物理学家应该引以为耻：你寻思有多少钱投进了这些实验和大型设备的时候，我们却坐着嘟囔一个漂亮的理论，却不能计算任何数字！我想，我们不应该拿薪水，或许薪水倒是应该提一提——我们会做得更快啊！

——“QED：New Queries”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

在每个领域中，都有几类人，我能与之很好地交谈，一如我能与一位好科学家那样交谈。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

如果你把更多的钱给理论物理学，但假如那笔钱仅仅增加了盲从大腕的人数，那就没有任何好处。

——CERN talk, December 1965

因此在我身为教授的年月，我那德性很像是一个学生，甚至是大一的新生。在完全的法律意义上，别人真会把我错认成新生。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

如果医生说，“这个伙计长了个包，鼓出来，”你就采取点措施。但他说，“他有点倔驴，”你就怵于问问题。令人莞尔。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

哈，不幸的是，你知道我一直不赶时髦。部分子[2]这个事儿有多么成功啊，我就变时髦了。我必须找到某种不时髦的事情去做。

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1973（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

这种会议比罗夏墨迹测试更糟糕：有了一片没有意思的墨迹，另一些人就问你，你看到了什么，但等你告诉他们，他们就开始跟你吵闹！

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.283，*Classic Feynman*, p.264

[给一位粉丝回信]我如今是独一无二的——一个有人爱慕的物理学家，而爱慕者还只在电视上看到他，就爱上了他。谢谢你啊，粉丝！现在我拥有任何人欲求的一切。我不再需要嫉妒电影明星。[签名：你的被粉（你随便称呼——这事儿对我是全新的），理查德·费曼]

——Letter to Ilene Ungerleider, August 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 286）

我就是喜欢老鼠的那种味儿，因为那是一种催人奋进的臭味。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 402

因此我为自己发明了另一种神话：我没有责任感。我有高度的不负责任感。我逢人便说我无所事事。如果有人让我去参加一个委员会，去管招生工作，“拉倒吧，我没有责任感。我才懒得管学生的闲事儿”。当然，我非常重视学生，但我知道闲事儿有别人去管。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

亲朋好友、邻里乡亲以你为荣，那很爽啊。然而，我发现，得奖总带来一些陷阱和障碍。我必须到瑞典领一个奖，还必须在早晨七点起床去领另一个奖。

——Chamber of Commerce Outstanding Citizen Award acceptance speech

这是一个惊人的观念——你应该做一些细致的实验，不要做深刻的哲学论证，而要发现某种东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961

我因此就没太多的要说了，但我反正会讲得很长。

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

世界上当然也有许多你解释不了的现象，那仅仅是因为大家都蠢嘛。我们都干傻事儿，我们知道有人干的傻事儿比其他人多；但是，要核实谁干的傻事儿最多，那是没什么用处的。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 95）

[给粉丝回信]你做了事儿，大家喜欢，他们来了信，你读起来感觉良好，这个自鸣得意的劲儿，通常能持续到午饭之前。

——Letter to J. S.Paxton, January 1982

例如，近来年轻人有这种荒谬劲儿，翻来覆去地唱紫色的食人族，唱猎狗；这类事儿，如果我们属于粗俗的三八婆，属于翠莲和翠花，或者喜欢音乐迂回婉转，我们就完全不能批评。妈妈的儿子们唱“来吧，约瑟芬，请上我的大飞机，”那听起来就像“我将把你送上一条到中国的慢船”一样摩登。因此，在生活中，在嬉闹中，在感情中，在人类的愉快与追求中，也在文学中，等等，没什么必要讲科学，没什么理由讲科学。你必须放松，你必须享受生活。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 64）

事儿真怪，有人叫我在一个正式的场面上打邦戈小手鼓，报幕员似乎总觉得有必要提提我也搞理论物理。

——*Character of Physical Law*, p. 13

Love
爱情



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

有必要与一个理论共浴爱河，正如与一个女子如胶似漆，只在你还不完全了解她的时候，那才是可能的。

——CERN talk, December 1965

不论金发美女还是金发丑女，反正还没有跟我结婚的，因此我仍然在研究物理。

——Letter to Dr. Ted A.Welton, October 1948

我坐在游泳池边，有个女子一头扎进水里，但她不很漂亮，我就能思考其他事情，我思考波，也思考在水里构成的东西。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

有些其他事情，科学方法或许也用得上；那种事情完全是明显的，但讨论起来却越来越难——例如做决定那种事。我的意思不是说事情应该用科学方式来做，就像在美国，兰德公司的人坐下来，搞些数学计算。那仅仅让我想起我上大二时的日子，我们讨论我们发现的女人，如果用的是电学术语——阻抗、磁阻、电阻——我们对情况就有了较深的理解。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

[谈他最骄傲的事情]我爱我的第一个妻子，我能爱得多深，就有多深。

——*The Los Angeles Times*, February 16, 1988

女人的脑子擅长理解解析几何。与女人的大脑进行交流，难处或许仅仅是我们还没有找到一个方法。如果方法对路，你或许能够有所得。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 176

我妈教育我，说我必须先下公共汽车，然后帮她（女朋友）下车，以及全部此类事情，我就发愁了：我说什么呢？我仍然记得我们说了什么。话是很蠢的，因为你知道那是我第一次的经历。她问我，弹钢琴吗，我告诉她，我想学，我以前上过钢琴课，时间很短。在我大些后——在漫长地度过了若干个月之后，我只能弹名叫“雏菊之舞”那种东

西，或者仙女之类，这在我看来似乎不足夸耀，因此我就不弹钢琴了。我们谈这谈那。后来，在我们道别的时候，她说："谢谢你，给了我一个可爱的晚上。"这给我印象很深。我太高兴了。然后我发现，在我第二次约会的时候，那个女孩说："谢谢你，给了我一个可爱的晚上。"第三次约会，在我们说再见的时候，就在门口，我对她说："谢谢你，给了我一个可爱的晚上。"她就僵住了，一句话说不出，因为那是她想说的话。因此，我从实践中很快学会了礼仪，你懂的。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我到了那儿，被女孩吓呆了。我记得我不得不去发一个邮件。社交风度如何养成，是有趣的。在我不得不去把邮件从楼上拿下来的时候，碰巧遇到高年级学生带着几个女朋友，俩女朋友，就坐在台阶上聊天，怎么带着那些信从他们面前走过，我干脆不知道了。女孩们吓唬我。事情整个叫我害怕。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈他的第一个妻子]此事或许人人都能遇到，但我遇到了，就横竖显得独一无二，也好像仅仅是我个人的事。她的温柔和与众不同的世界观——她还是一个艺术家——知道什么有价值，什么美，等等，那都是一些我通常没有直接兴趣的东西——在某种程度上，我对人文学科缺乏兴趣。但因为她对这些东西有兴趣，而我们之间发展出了爱情，我就对这些东西更多地注意，也温和起来。由于我和她的关系，由于我听她的想法，我变成了一个更好的伙计。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

Philosophy and Religion
哲学与宗教



在加州理工学院讨论日讲课，1978年5月

加州理工学院提供照片

关于科学绝对必要的条件，哲学家们说了很多；就我们能明白的而言，那些话总是很天真，也多半是错的。

——*Feynman Lectures on Physics*, pp. 2—7；*Six Easy Pieces*, p.35

科学以其知识创造一种力量，一种做事情的力量：在你知道了某种科学的东西之后，你就能做事。但科学并不为这种力量提供指导，以便知道如何做好事，而不做坏事。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

人们是否会理解所谓客观意识或者个人良心，这个问题许多人都思考过。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

不必有形而上学的理论，也不必相信某些观念，如基督复活之类。我们如何维持激励人心的力量？为了相信你应该帮助邻居，己所欲，施于人，为了像一个基督徒那样生活，难道非有必要相信基督复活吗？

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 428

然而，与能够证实的相比，能为人知的真相是多得太多了。

——*From Nobel Lectures*, Physics 1963—1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

这个令人想入非非的奇妙宇宙，这个浩瀚的时间与空间范围，各种不同的动物，全部不同的行星，以及全部的这些原子及其运动，等等，在我看来，全部这些复杂的东西，仅仅是一个戏台，神可以看着人类为善恶而斗争——宗教就有这样的观点。为这个戏文，这个戏台是太大了。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 426

我要说，物理学家的世界观，并不侵蚀生物学、宗教或者其他任何东西的任何假定。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

你不可能精确地定义任何东西。如果我们试图那么做，我们就堕入思想的麻痹症，哲学家们就有这种麻痹症，他们相对而坐，一个对另一个说：“你不知道你在谈什么！”第二个就说：“你说的知道，是什么意思？你说的谈，是什么意思？你说的你，是什么意思？”如此等等。

——*Feynman Lectures on Physics*, Lecture 8, October 20, 1961

我确实无意于坚持说伦理学和科学是分离的，但我倒是可以说伦理学的基础必须以非科学的方式得到选择。那么，当基础得到了选择，科学当然可以帮忙断定我们应不应该做某些事情。科学可以帮我们看明白，如果我们做那些事，可能发生什么，但我们是否想要某事发生，这个问题依赖于对伦理学终极善的一种选择。

——Letter to Professor Lawrence Cranberg, March 1965

但现实却是假与恶可以像善那样轻易地教给别人。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 31）

为善或者为恶，和平都是一种伟大的力量。和平怎么会为恶，我不知道；如果我们总是和平，我们会看到。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 32）

科学家是探索者，哲学家是旅行家。

——*No Ordinary Genius*, p. 260

一个观念的支持者，看着另一个观念的信奉者的行为，不胜惊恐。

惊恐是因为从一种不相谋和的观点来看，种族的那些全部伟大的潜能，都被导入一条虚假而禁闭的死胡同里。其实，巨怪是被错误信念创造出来的，正是从巨怪的历史来看，哲学家们才终于意识到人类的那些怪诞的潜能和奇妙的本领。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 33）

回顾那些最坏的时代，事情似乎总是这样：在那些时代里，关于某种事情，有一些人相信绝对的信念和绝对的教条。他们对这事情太严肃了，就坚持世界的其余部分应该同意他们。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 33）

我说，我们不知道生活的意义，不知道什么是正确的道德价值，我们没有选择正确的道德价值的方法。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 34）

生存至上的原则是毫无疑问的吗？所有人都同意的吗？我努力想做的一切，是在这种原则之中撒下一些怀疑，怀疑这个原则有些糊涂。如果你能看到此类怀疑或许是存在的，那么谁将为科学消除怀疑？

——Letter to Professor Lawrence Cranberg, March 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 150）

好吧，那么词汇怎么样呢？我们的词过分多了吧？不多，不多。我们需要词表达观念。我们的词过分少了吧？不少。有缘巧合，在时间的长河里，我们碰巧搞出了完美的构词法。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p.

116）

道德价值和伦理判断这个难题，是科学不得其门而入的难题。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 120）

要看到慷慨，你就必须足够慷慨，慷慨得看不到吝啬；在一个人那里只看到吝啬，你一定足够吝啬，吝啬得看不到慷慨。

——Letter to Reverend John Alex and Mrs. Marjorie Howard, December 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 184）

你在努力发现关于它更多的东西，因为你将得到关于某个深刻的哲学问题的一个答案；如果你这么想，你或许就错了。事情可能是这样：凭借发现自然特征的更多的东西，你甚至找不到那个特殊问题的答案。我的科学兴趣，仅仅是发现关于这个世界的东西。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 23

我不希望接受美国哲学学会的会员资格。我的理由完全是个人的，无论如何不反映我对这个学会的看法。恰恰相反，我觉得那是一个蛮好的组织。

——Letter to George W. Corner and the American Philosophical Society, July 1968

那么，大千世界的意义到底是什么？我们今天能说些什么，以消除存在的神秘？

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 33）

科学不能证明上帝不存在，我同意。我绝对同意。既信科学，也信

宗教，这并不矛盾，我也同意。我知道许多科学家信神。证明什么事情是虚妄的，不是我的目的。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 36）

在我看来，事情似乎是这样：在伦理道德观和关于宇宙的机械论之间，存在一种彼此独立的情况。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 41）

因为少量知识是危险的，年轻人只学一点科学，就以为自己知道科学的全部。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 36）

宗教的形而上学方面，似乎与道德价值毫无关系，道德价值不知怎么似乎在科学领域之外。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 43）

人们，全部时代的哲学家们，想找到存在的秘密、存在的意义。因为如果他们能发现生活的真正意义，那么人类的全部这些努力，人类全部的这种神奇的潜能，就能转入正确的方向，我们就会阔步前进，取得很大的成功。但是，整个世界、人生和人类等等的意义这个问题，许多人回答了许多次。不幸的是，全部答案都不同，有某种答案的那些人，被有另外一种答案的那些人的行为作派吓得目瞪口呆。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我们不知道存在的意义。基于对我们以前有的全部观点的研究结果，我们说我们不知道存在的意义；但是，在说我们不知道存在的意义的时候，我们多半发现了开放的渠道。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

科学是什么？并非哲学家们说过的那样。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

在宗教中，他们教道德教训，教了不是仅仅一次——你反反复复得到启发。我认为，以几种方式，你反反复复得到启发，为孩子们，为成年人，为其他每个人，记住科学的价值，是必要的。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

人生止于坟墓，死时即为终结。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

现在，我们知道，即便有了理所当然的道德价值，人类也很虚弱；你必须时时提醒他们道德价值，他们才可能听从良心。仅仅有一种不错的良心，事情不是这么简单；问题也在于不屈不挠地实行你知道是正确的事。宗教提供力量、安慰与灵气，以便服从这些道德观。此乃宗教鼓舞人心的方面。宗教不仅为道德行为提供灵气——它也为艺术以及全部种类的伟大思想和行动提供灵气。

——“The Relation of Science and Religion”, May 1956

沉思超越人类的宇宙；把人撇开，思考宇宙的意义，此乃壮举——因为宇宙漫长历史的大部分，一如其大多数地方，本来无人。这种客观观点最终一俟达成，物质的神秘与庄严则可为人赏识，然后把这种客观的眼光转回人自身，视其为物质，把生命视为具有最大深度的那个宇宙神秘的一部分，这就会领悟到一种体验，前人很少提及的。如此遐思，通常在大笑中停止，苦思苦想，徒劳无功，不禁令人莞尔。科学的这些思想，止于敬畏与神秘，迷失于不确定的边缘，但显得如此深远、如此感人，那么说宇宙的全部编排只为做上帝的戏台，让上帝观看人类为善恶的斗争，这个说法就似乎不恰当了。

——“The Relation of Science and Religion”, May 1956

尽管我时不时地相信所发现的科学证据或许能够部分地被解释为提供某种证据，以证明基督生活的某个特殊方面，比方说，或许也能证明其他一些宗教的形而上学观念；但是，在我看来，没有什么科学证据与道德的金科玉律有牵扯。在我看来，道德是有些不同的。

——“The Relation of Science and Religion”, May 1956

在我看来，西方文明依凭两个伟大的衣钵而立世。一个是科学的冒险精神——冒险涉足未知之域；未知之域必须被认作未知，那才需要探索。宇宙的神秘问题不可回答，那就不要胡乱回答。一切都不确定，这种态度，一言以蔽之——就是理智的谦卑。另一个伟大的衣钵是基督教的道德，基于爱的行为基础，对全人类的兄弟情义，对个体价值的承认——这就是精神的谦卑。这两个衣钵在逻辑上是完全一致的。但逻辑不是全部；信从一个观念，你需要一份人心。

——“The Relation of Science and Religion”, May 1956

诺依曼给我的一件东西，是他的一个想法，那想法很有趣。那就是，你不必对你身在其中的这个世界负责，因此我就培养了一种高度的

社会不负责任感。这是诺依曼劝我的结果。从此以后，这让我成了一个非常快乐的人。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

为了赏识自然，不确定是必要的；不确定，不容易与对信念的确定感联系在一起；对信念的确定感，通常与深刻的宗教信仰联系在一起。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 43）

你知道，在这个方面，或者在那个方面，大多数人是坏的——但是，他们不总是坏，他们也有另外一些好的方面，将功补过。

——Correspondence with Mimi Phillips, published in the *Wheeling News Register*, October 5, 1958

13岁那年，我不仅改信了其他的宗教观点，我也停止相信犹太人是“上帝的子民”。

——Letter to Tina Levitan, February 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 236）

我们这里的人，都是来了的，我猜是这样；但是，我看到某人，他不在这里——你喜欢这说法吗？可那是一个古老的哲学问题啊，是吧，你能否看到一个不在这里的人？我记得我在普林斯顿和研究生们几个小时、几个小时地争论——他们是学哲学的学生，当你说冰箱里没有鸡，你在谈什么？我跟哲学家们不牵扯，理由在此。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

在我看来，科学一直在进步，总在变化，并且走向未知之域；宗教找到一套观念，保证不与科学陷入冲突，是不可能的。我们不知道如何

回答这些问题；找到一个答案，总也不可能发现它是错误的，此事不可能。困难出来了，因为科学和宗教都试图在这里回答同一个领域的问题。

——“The Relation of Science and Religion”, May 1956

因此，我常常玩味：在政府中的工作，与正直有什么关系吗？

——*What Do You Care What Other People Think?*, p. 218，*Classic Feynman*, p.463

有一件事，使我不再有胃口来容纳哲学问题和政治问题。原因之一，是我明白了——我比以往更坚定地避之唯恐不及。我甚至不讨论哲学和政治。我不知道为什么。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

“我们为什么如此倒霉？上帝对我们干了什么啊？摊上这事儿，我们招谁惹谁了？”干吗说这些叫你自己不痛快呢。如果你理解现实，并把现实纳入你的内心，那些事儿就无关紧要，也无可奈何。那仅仅是一些没有任何人知道的事情。你的境况，仅仅是生活的一个事故。

——*What Do You Care What Other People Think?*, p. 51；*Classic Feynman*, pp.116—117

在这个专业分工的年月，那些完全明白某个领域的人，常常无能于讨论另一个领域。因此，人类活动的这个方面和另一个方面之间的关系，这个大问题在公共场所讨论得越来越少了。当我们回顾以往关于这些主题的大争论，我们会嫉妒那些时代，因为我们应该喜欢这种争论的那种兴奋状态。这些老问题，如科学和宗教的关系，仍然和我们有关系，我相信目前那些窘境一如既往，但常常得不到公开讨论，因为有专业化的限制。

——“The Relation of Science and Religion”，*Engineering and Science*（*The Pleasure of Finding Things Out*）

Nature of Science
科学的本质



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

你问，我们会有进展吗？这叫我想起一个场合，那时我问了同样的问题。我在撬一个保险柜。有人问我："怎么样？你有进展吗？"你开了，你才有话说。但是，你已经试了很多数字，你才知道那都不管用。

——Panel discussion, particle physics conference, Irvine, California, 1971

[谈物理学与其他科学的关系]无论怎么说，你看到各门科学全都互相联系；若非出于方便，就不值得以不同的名称称呼之。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961, Q&A

从研究爱因斯坦和玻尔，今天的物理学家都知道，有时候一个观念乍看起来完全荒谬，如果无微不至地在实验条件下分析彻底，它或许其实并不荒谬。

——*From Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

我熟悉许多实验物理学家，他们是那种朴素之人。因此，我总是疑心，有朝一日，我会远离理论家，走近实验家的机器，他们将得到一个点子，来做一个新实验——一个验证某个奇迹的实验。他们将看到会发生什么事情，仅仅为了乐趣嘛；如果他们虚假地报告说，在某个曲线上存在某个凸起，或者存在某个震荡，看看理论家们如何预言它。我太了解实验物理学家那些人了，打从我想到这个可能性的那一刻，我就一直真诚地担忧有朝一日他们真会那么做。你能够想象到理论物理学家那调子有多么荒谬，搞全部那些复杂的计算，来证明那么个凸起的存在，与此同时实验室的伙计们掩口而笑。为此理由，我发现我自己几乎无能于做那类计算，而大多数其他人能。我害怕实验家会让我自献其丑！

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

在基本规律和最终现象之间，存在巨大的距离；令人难以置信的是，最终的现象多样性，居然出自简单规律的如此稳定的作用。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

科学知识使我们能做各种各样的事情，能制造各种各样的东西。当然，如果我们制造好东西，那就不仅符合科学的荣誉，也配得上引导我们做好事的道德选择。科学知识是一种赋予人能力的力量，既能行善，也能作恶——但它本身不带指令，不告诉我们如何使用它。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 142

我们喜欢说外在世界是真实的，或者我们能够测量的东西是真实的；如果你看得长久一些，你意识到唯一真实的东西，是你所感觉的，是你所测量的，是你如何感觉那个；外在世界很容易变成大脑的一个幻象。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

一场科学争论，趋向于涉及双方大量的嘲笑和不确定，双方都设计实验，都愿意为结果打赌。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, pp. 21—22）

此乃现代社会的有利条件之一：我们不必对付这些困难的技术难题了。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

但是，在生物学中还没有发现什么东西，表明死亡不可避免。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 100

现在你可以明白，有人叫我去讲话，我为什么觉得有点不舒服："请告诉我们最新的东西。"当然，因为当时我正在谈我们在理解质子内部的那些难题！因此，一直谈论我们所知不多的东西；我们事事都知道的东西，没有人问我；为什么我对此感到不舒服，你该多少明白了！

——"QED：Photons—Corpuscles of Light", The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

在科学中，在我熟悉的那个领域中，取得真正的成功的不二法门，是非常仔细地描述证据，别在乎你觉得它应该是怎么样的。如果你有一个理论，你必须努力解释它的好处和坏处，并不偏向。在科学中，你能学会一种标准的正直与诚实。

——*What Do You Care What Other People Think?*, pp. 117—118，*Classic Feynman*, p.462

你说，物理老师的麻烦，是他们不像这样解释量子力学：说粒子的行为像波，或者粒子的行为像台球，或者粒子的行为像——我不知道像什么。你明白，粒子的行为不像你知道的任何东西。因此，除非用分析方法，要描述这种东西是不可能的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

像往常一样，自然的想象力远远超过我们自己的想象力，正如我们从那些微妙而深刻的理论看到的那样。得到如此微妙而深刻的猜测，可不那么容易。你必须真正聪明地去猜，用机器盲目地去猜是不可能的。

——*The Character of Physical Law*, p. 162

是哈，这个，你用灯照亮一个角落；光跑进那个角落，那就令人兴奋；但是，如果光被墙挡住了，那就没有用了——你必须另找出路，对吧？

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

物理学不是数学，数学不是物理学。它们互相帮助。但是，在物理学中，你必须对词和真实世界的联系有一种理解。最终把你琢磨出的东西翻译成英语，翻译成世界，翻译成你做实验用的铜和玻璃块，这是必要的。唯其如此你才能发现这些推论是不是真的。

——*The Character of Physical Law*, p. 55

[科学]的这种力量，自身不带指令，不告诉你如何使用它，是用它行善或者用它作恶。这种力量的结果，或善或恶，依赖于如何使用它。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 5）

一般而言，我们寻找一个新规律，是遵照如下程序：首先，我们猜测它。然后，我们假设我们猜的这个规律是对的，就看看有什么寓意。然后，我们拿这个推断的结果与自然对比，与实验或经验对比。直接拿它和观察对比，看看它是否管用。如果它与实验不符合，它就错了。你猜得有多么漂亮，那无关紧要。你有多么聪明，谁做的那个猜测，他名字叫什么，都无关紧要——如果它和实验不相符，它就错了。

——*The Character of Physical Law*, p. 156

数学家四面八方地探索，物理学家快快抓住他需要的数学，而不必

紧跟步调，不必掌握每一种想必有用的数学。

——*Omni* interview, February 1979

我们试图尽可能快地证明我们自己错了，因为唯其如此我们才能取得进步。

——*The Character of Physical Law*, p. 158

发现物理学规律，宛如把拼图游戏的那些碎块摆在一起。我们有全部这些不同的碎块，今天碎块迅速增加。其中的许多四零八散，不能拼在一起。我们怎么知道它们是属于一块的？我们怎么知道它们确实都是一幅画面的一部分？我们拿不准，事情就在一定程度上让我们着急；但是，我们从几个碎块的一般特征中得到了线索：它们都显示出蓝天，或者都是用同一类木头制造的。

——*The Character of Physical Law*, p. 83

“科学的存在本身”有什么必要？自然的特点是什么？这是不能用夸夸其谈的想当然来决定的，而是由我们用来研究的材料决定的，是自然本身决定的，我们看到我们发现的东西，我们不能提前就成功地说出事情将会是个什么样子。

——*The Character of Physical Law*, p. 147

如果科学要进步，我们需要的是做实验的能力，是报告结果的诚实——报告结果，不管某人说他们一直喜欢结果是怎样的——最后，一件重要的事情是解释那些结果所需要的智力。

——*The Character of Physical Law*, p. 148

我的反对派就说：“飞碟存在，这不可能吗？你能证明那是不可能

的吗？”“不能。”我说，“我不能证明那是不可能的。那仅仅是非常不可能。”话到此处，他说：“你很不科学啊。如果你不能证明那是不可能的，那么你怎么能说那不可能呢？”说什么是更可能的，什么是不大可能的，那才是科学嘛；一天到晚证明什么可能，什么不可能，那才不是科学。

——*The Character of Physical Law*, p. 165—166

这些观念含混不清，很难记住，你把它们收拾到一块儿，那就像——我有这么一个强烈的感觉——那就像建造纸牌屋，每个纸牌都摇摇晃晃，如果你照顾不到某一张牌，整个东西就崩溃了，你也莫名其妙不知道哪里出了乱子。如果你遭到干扰，如果你忘了那些牌是怎么勾连一处的（那些牌相当于一个观念的不同部分，或者不同的概念勾连一处以建造一个大概念），你就必须从头再来。那是一尊宝塔，它也易于滑落。它需要好多专心致志——需要不受打扰的时间来思考。

——*No Ordinary Genius*, p. 120

那是一种更深刻而温暖得多的理解，那意味着你能在某处挖掘一番，你暂时相信你在那里能挖到答案，有人过来说：“你不知道他们在那儿碰到了什么吗？”你抬头说，“呀！我挖错地方了！”这号事儿，一直发生。

——Interview with *Omni*（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 200）

这个主意，是努力提供全部信息，来帮助别人判断其贡献的价值：那不仅仅是在某个特别方向上导致某种判断的那种信息。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 210

科学思维的一个原则，是彻底的诚实。

——Notes

科学的原则，那也几乎是科学的定义，是像这样：对全部知识的检验手段，是实验。实验是“证据”的唯一法官。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 1, September 26, 1961

在这一系列复杂的运动之物当中，你可以想象某种事情，那类似于试图观看诸神下的一盘大棋。你不知道这游戏的规则，但你可以做的全部事情是观棋。现在，如果你观察得足够长久，你当然最终可能抓到几条规则。这游戏的规则，就是我说的基础物理学那东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

如果他们告诉我们：某种确定的情况必定总是产生相同的结果，那善莫大焉。但是，等到我们也试一试，那个结果没有发生，再试还是没有发生。我们就只好认定眼见为实。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

因为科学是好的，姑且这么说吧，那并不意味着不是科学的东西就不好。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961

偶然地，精神分析不是科学：那是一种医学的行当，是巫医。关于什么让人得病，它有一种理论——一大些不同的精灵，这种和那种。姑且说巫医有一种理论，说这病是由一个精灵导致的，精灵从空气中来；那是真的，某种东西确实通过空气而来——但那是不同种类的精灵，比方说，通过在它头上摇晃一条蛇，驱不走它，但奎宁确实能治疟疾。因此，如果你生病了，我会建议你去找巫医，因为他是部落里最知道这种病的人；话说回来，那不是一种科学。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961

单凭嘴说，炮制一个理论，是足够容易的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961, Q&A

我知道我很聪明，话不是那么说的。事情仅仅就是那样——您瞧，科学的事儿正确，是在理性的意义上正确。

——Interview with Charles Weiner, 1966, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

是的，我总对关系、实际事儿感兴趣——这确实没什么了不起，除非有办法搞出点事儿。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

你一定得知道，如果你知道怎么下棋，学会全部规则也很容易，但你仍然很难选择最佳走法，很难理解为什么象棋大师阿廖欣（Alekhine）那么走。因此，与此类似，只是在自然中事情更糟糕，我们或许能发现全部规则——其实，我们不知道全部规则，我们知道我们得不到全部规则——每当有某种事情类似于“出车”或者其他招数，我们还是不明白。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

因为有许多人觉得，做事的路数是要发现大腕们在鼓捣什么问题，然后自己也在那里研究。这不是那么好的想法。如果你自己不曾把问题想过，你可能追随了错误的东西。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

如果那是物理学，那就有趣。瞧，样样事物，斗榫合缝。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

但是，这个漂亮的实验，我仍然记得，在实验室里，是这样的。有一个环。你知道，其他实验——得动用仪器，用火花帽，用轮子，用各种各样的东西。墙上有个钩子；我说的是一个钉在墙上的钉子，还有一个金属环，金属造的环，一个无肢畸胎，随你怎么叫它，像个大洗衣机，一个大玩意儿。它说："挂在墙上，测量时间，根据形状计算时间，看看它们是否符合。"我喜欢那个。我觉得那事儿棒得邪乎。我没心没肺哈——我现在是努力回忆——我也喜欢其他实验，但那需要火花和全部其他文武场面，那是太容易了。动用全部那些设备，你能测量出引力的加速度。但是，觉得物理学如此之好，这意思不是你善加准备，然后能琢磨出东西，而是像一个挂在钩子上的脏乎乎的环子那样自然——那给我深刻的印象，我现在就有动力讲那种傻乎乎的东西，可是它照样办事啊。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

这个情况，每当我们接近答案就总有这种情况，事情看起来太不应该如此简单了。我们必须理解那种简朴性，也理解为什么我们以为事情必定更复杂。不知道怎么的，我们的心灵太复杂了。

——Yorkshire Television interview, "Take the World from Another Point of View", 1972

在强相互作用理论中，我有一个原则；如果某个理论太复杂，它就错了。

——Panel discussion, particle physics conference, Irvine, California, 1971

我丝毫也不悲观，那个答案最终会水落石出。你不可能失败。自然不能抵抗实验的不断渗透，那些猴子胡乱坐着看热闹，在它们的鼻子碰来碰去碰到那个答案之后，早晚会看到那是什么。

——Panel discussion, particle physics conference, Irvine, California, 1971

凭其优美和简朴，你认得出真相。

——*The Character of Physical Law*, p. 171

有些理论家不理解理论和实验的关系——他们全部的知识，其真正的来源和检验着落在哪儿呢？

——Letter to Dr. Blas Cabrera, September 1982（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 349）

在科学中（与做买卖或任何其他行当不同），我们都在一起工作，同舟共济，试图理解自然，我们学会了非常仔细地识别并表扬那些确实得到了有用的新观念的任何人。

——Letter to Dr. Rafael Dy-Liacco, June 1978（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 321）

新观念总是令人心醉神迷，因为物理学家们希望发现自然是怎么运作的。按照已知规律，偏离期望的任何实验结果，立刻就吸引注意，因为我们或许发现了某种新东西。

——Letter to Mr. L.Dembart（*Los Angeles Times*），January 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p.397）

我们的大部分难题是人造的，是属于这一类。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

事实上，工程师可能最好被定义为这么一种人：他们知道如何把能量从一个装置转移到另一个装置中。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

相对论的那些争论，错乱之处是你有两个观点。一个新手通常做的事情，是在做一个计算的时候，在这两个观点之间颠三倒四。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

理论物理学，即便它纯然着落在大家接受的基本原理之上，其预言能力也那么小，此事令人莞尔。

——Letter to Dr. Hans Bethe, June 1951

在我看来，如今没有什么科学有本事恰当地选人或判断人；因此，我怀疑大家知道任何聪明的方法。

——Letter to Mr. Douglas M.Fowle, September 1962（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 135）

物理学家看心理学，凭着自己的习惯，试图建议发现某种简单的因素来研究，而不是要整个地研究人类的大脑。

——On human and animal eyesight, in a letter to Edwin H. Land（Polaroid Corporation）， May 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 223）

越来越多的人发现基础物理学是一个比较无趣的课题。因此，它就被置于一种不完整的状态中，区区数人在如下这个问题的边缘上，工作得很慢：是引力大小10^{30}分之一的耦合常数的第三阶张量场，是什么东

西？

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

科学思维的目的，是在确定的实验环境中，预言什么事情会发生。

——Letter to F. Harrison Stamper, April 1962

过分精确，不总是个好主意。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 4）

科学的最明显的特征，是其应用价值，科学的一个结果是使你有能力做许多事。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 5）

但是，如果一个事情不是科学的，如果它不能受到观察的检验，这并不意味着它死定了、错误或者愚蠢。我们不打算争辩说，科学的就是好的，其他东西就是不好的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 16）

事出偶然，毕竟存在一些有待检验的规律，这个事实本身是一个奇迹；发现一个规律，如引力的平方反比定律，就是某种奇迹。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 23）

科学不是一种专属的行当；科学完全是普遍的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 112）

在最近的200年，科学发展的速度一直在加快，我们现在达到了速度的极点。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 62）

某事是不科学的，那并不坏；那是一种跟科学无关的事。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 63）

与其他科学主题不同，关于时间的那些观念，还不存在一种面面俱到的发展。从常识来看，我们所知道的，远远多于我们所不知道的。人人知道时间无情地逝去，而科学家们在其全部的研究中所发现的东西，对这一神秘之事的知识增加得相对少。

——From notes for “About Time” program, 1957

科学问题趋向于分为两种：一种，理解我们发现的那种事物布局的起源；另一种，如果那种布局在确定环境中开始运作，理解事物会是怎么个德性。

——From notes for “About Time” program, 1957

这种彻底性，是一种优点，却常常遭到误解，此事有趣。某人说一个事儿是用科学办成的，此刻他的全部意思，是说那事儿办得彻底。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 17）

假设伽利略在此，我们要让他看看今日世界，想取悦他，或者看看

他会发现什么。我们会告诉他关于证据的那些问题，关于他发展起来的那些判断事物的方法。我们会指出，我们仍然一丝不苟地处于相同的传统中，我们一丝不苟地遵循这个传统——甚至会细说到搞数字测量，以及利用数据作为较好的工具之一，起码在物理学中是这样。我们会告诉他，各门科学已经得到发展，其颇为不错的方式，正是直接对他原创和发展起来的同一种精神的继续。因此，不再有巫师和鬼怪了。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

现在，说占星术是对的，这说法可能是真的吧。如果你在金星处在合适角度的那一天去看牙医，好于在另外的日子去，这说法倒也可能是真的。法国卢尔德（Lourdes）地方的奇迹或许能治好你的病，这可能是真的。但是，如果那是真的，事情就必须得到调查。为什么？要改善和利用它啊。如果那是真的，那么我们或许就能发现星体确实影响生命；我们或许就能借助于统计学的、科学的研究，来判断这些证据，那也客观，也更细致，以此把这个体系搞得力量更大。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

科学是一个漫长的学习的历史，学习如何不愚弄我们自己。

——Quoted in K. C.Cole, The Universe and the Teacup：The Mathematics of Truth and Beauty, 1998

我相信我们必须攻击这些东西，我们不相信这些东西。我们攻击它，不用把人的头砍掉的那种方法，而用合情合理的讨论。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

要描述其他科学学科得到的那些经验现象，我完全相信物理学的世界观是合适的。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

在物理学中，我们恬然自得地相信：我们有一个理论，根据这个理论，如果你告诉我们初始条件，我们就能预言在将来会发生什么。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

另外的理论和学科，有个东西，把过去叫作那个理论框架的基础部分。但是，物理学通常不要求研究过去，以便分析下面会发生什么事儿。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

物理学和生物学有这种关系，我们谈了很多，我们描述生物界总是试图描述外在的东西。我们总是试图描述你，永远不描述我。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

如果存在意识，那么我们就有大量问题，问意识是如何进化的，意识的范围有多大，意识在其他动物甚至整个自然世界中是如何分布的，等等。产生的问题多于答案。然而，我疑心，你们有很多人有某种感觉，觉得万事万物内在地就是真的，正如它在光天化日之下也是真的那样。

——UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

我们无意于确定地发现世界是怎么个样子，而仅仅想发现我们已经看到多远。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

我们把这个假定束之高阁：在还没有做任何观察的时候，我们能够说“这是一种非此即彼的情况”。那么，我们就能继续直截了当地思考，那是我们知道的最有效的路子。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

科学就是那么个东西；发现的结果，值得借助于直接的新经验来再次检查之，而不必信任以前的种种经验。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”April 1966

科学还有一种价值：它传授理性思维的价值，也传授自由思想的重要性；积极的结果来自怀疑，这个教训是真的。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

通常我们发表东西，我们在专业刊物上发表的东西，是经过仔细打磨的结果，所有那些常规想法、旁门左道、心底的琢磨等，你都已经把它们剔除了。你并不描述你个人的冒险和观念的进展过程。参考资料是为首次思考这事儿的人准备的，不是为告诉你这事儿的人准备的，如此等等。

——CERN talk, December 1965

我认为，那可能是年轻人进步的原因。他们知道得不够多。因为当你知道得足够多的时候，你拥有的每个观念显然是不怎么好的。

——CERN talk, December 1965

他们做的全部事情，是他们在鼓捣物理世界，他们把它切成片，分析它。你这个伙计切的方式不同，无论你怎么切，你切的是同一段大腊

肠，因此你应该看看这个大腊肠，不必看切的过程。

——CERN talk, December 1965

哎，喂，我走的这一趟，多么疯狂，多么奇妙，到头来一无所得。我解决不了无限自能量这个问题；它至今是无限的，正如在我开始研究之前它也是无限的。

——CERN talk, December 1965

我们拥有的这些理论中的每一个，似乎可能以许多不同方式写下来，也可能从许多不同的物理观点来看。

——CERN talk, December 1965

物理学规律是如此这般的这一种，但可以用另外一种方式来写，表面上不同，却是相同的，此事在我看来颇为神妙。仅仅为乐趣，我将提议——尽管我不得不再做思考，看看那是不是有道理——那是因为简单，那个简单的东西能够用两种不同方式描述，你却不知道你在描述同一个东西。然而，如果你对付一个复杂的东西，为了充分描述它，你也说了很多关于它的话，那就完全不可能有另外一种方式让它看起来是不同的。

——CERN talk, December 1965

当你从一些不同的物理观点来看事物的时候，如果你不把你的灵魂卖给其中的一个，那是我正在办的事儿，而是兼容并蓄，那么你就太伟大了。

——CERN talk, December 1965

你的理论实际上会是对的，人人研究的那个一般的东西会是对的，

这个概率是很低的。但是，你，小男孩施密特，将是那个把事情琢磨透的伙计，这个概率并不小。

——CERN talk, December 1965

我们不盲从相同的时尚，那是很重要的。因为虽然百分之九十确信答案就在那儿，盖尔曼就在那儿研究，但如果答案不在那儿，如果人人都像他那么干，那会如何？

——CERN talk, December 1965

如果你拿定主意要检验一个理论，或者你想解释某个观点，你就应该决定发表它的任何结果。如果我们仅仅发表某种确定的结果，我们就把这种争论搞得太好看了。我们必须发表两种结果。

——“Cargo Cult Science”, Caltech commencement address, 1974

科学能够在世界上引起巨大的恐惧，尽管这是个事实，但科学还是有价值的，因为科学能创造出东西来。

——“The Value of Science”, December 1955

科学是一种方法：如何知道某事，什么是不知道的，事情在什么程度上可知（因为没有什么是绝对可知的），如何处理怀疑和不确定，证据的规则是什么，如何思考事情以便能做出判断，如何把真相从虚假中、从花招中甄别出来。这些当然是科学教学（尤其是物理教学）的一些重要的次级产品。

——“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

到目前为止，物理学一直试图发现规律和常量，毋须问这些东西来自哪里；但我们或许正在接近这么一个地步：我们将被迫考虑历史。

——*Omni* interview, February 1979

由于你在物理学中变老了，你得到的教训是：我们能做的是自然的一个小小的部分。

——*Omni* interview, February 1979

我们有一个幻觉，好像我们能随心所欲地做任何实验。然而，我们都来自同一个进化着的宇宙，我们确实并不拥有任何“真正的”自由，因为我们遵守确定的规律，来自一个确定的过去。

——MIT conference, May 1981

也有这么一个可能性，你不理解，因为你有点给搞糊涂了。你确信你必定错误地解释了我的话或者其他类似的东西，你就走到岔路上去了。让我向你保证，大多数时候，关于我说的东西，你解释得确实很对，因为大自然真正的工作方式如此令人震惊，你甚至都不会相信是那样。

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

科学——换句话说，纯科学——不可能繁荣，最多只能有意外的繁荣。

——Notes for talk on “Science in America”

以你脑袋里已经有的东西来解释新观念，那是很自然的；但是，全部这些概念互相摞在一起：此一概念用彼一概念来解释，彼一概念又用另外一个概念来解释，而这些概念都怎么来的，不同的人会大不相同。

——“It’s as Simple as One, Two, Three” interview, December 1978

每次开会，在我看来事情总是这样：进展甚微。然而，如果你看比较长的一段时间，比方说几年吧，你就发现一种很大的进步，很难理解此事是怎么发生的，而同时在任何时刻都没有发生什么事。我认为那像是云彩改变了天空那种事情——云彩在这里逐渐散尽，却在那里集聚；如果你过会儿再看，天又不同了。

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

如今人人明白：物理学几乎完全在实验科学家的手里。但是，我认为我们应该充分认识到理论应该是有预言价值的。

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

如果你想检验现代理论的预言价值，你会发现它是很弱的。

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

一种新粒子或新事实被发现了，此刻全部理论家就做两件事中的一件：不是拉帮结伙，就是树倒猢狲散。

——Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

你应该卖力寻找一种“预料之中的”失败。我多半及时抛弃了我的偏见，否则下个月的一个实验就真能把我逮个正着。

——“The Present Situation in Quantum Electrodynamics”, Solvay conference, 1961

在南太平洋上，有一伙崇拜运输机的人。在第二次世界大战期间，他们看到飞机着陆，带来好多东西，他们希望现在仍然发生同样的事。因此，他们鼓捣一番，把地面搞得像是飞机跑道，在两边生了火，盖了一个木头房子，让一个人坐在里面，头上戴两块木头，像是耳机，竹子棍儿伸出来，像是天线——他是航空管制员。他们等着飞机降落。他们

把样样事情都搞对了。样子是完美的，但就是不管用。因此，我把这些事儿叫作“野狐禅科学”，因为他们遵照的是科学研究全部表面的作派和形式，但他们漏掉了某种本质的东西。

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

发现新事物，这种科学进步，常常起于注意到对老理论的预测有些微偏离的情况；除非预测非常精确而细致，这事儿也办不成。

——“The Qualitative Behavior of Yang—Mills Theory in 2+1 Dimensions”, January 1981

如果你听说原子是一个小小的太阳系，原子核在中央，像个太阳，众行星绕着它，像电子，那么你就落到一九几几年了。

——“QED：Electrons and Their Interactions”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

有些人发现科学那么有趣，其他人则发现它有些沉闷又困难。但孩子们，有些简直对科学着了迷。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

说到科学，我认为把科学搞得难懂的事情之一，是它需要很多想象力。要想象真事儿确实与这些发疯的事儿相似，那是很难的。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

在科学领域中，你得学会知道什么时候你知道，什么时候你不知道；你知道的是什么，你不知道的是什么。这些就是某种科学素养。你一定要小心，不要把你自己搞糊涂了！

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

世界是怪的；整个宇宙非常怪。但是，当你看细节，你发现规律是很简朴的。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

我认为，在天文学中，数字是一个问题——大小和数量。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我要说，牛顿是一个精通某事儿的天才——是一个擅长某种事儿的老师。他这个伙计，教我们如何以一种现代方式看待科学，因此我们能取得一些进步。他这个人非常仔细地在他搞出来的事实和实验决定的事实之间做区别，“果然是这样啊！”

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

你首先必须告诉我，为什么一克正是像它那么大。因为在法国大革命期间或者什么期间有人选了一克。他们决定如此这般的分量是一克，然后就有电子是这么多克！

——“QED：New Queries”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

这是我们物理学家具有的一个有利条件：我们知道我们在一个世纪前发现了什么。

——Letter to Dr. Robert S.Alexander, November 1965

我想让你欣赏这个奇妙世界，欣赏物理学家看世界的方式，我认为那是真正的现代文化的一个主要部分。（多半有其他学科的教授，他们会反对，但我相信他们完全错了。）或许你不仅会欣赏这种文化，你甚至可能想参与这个最伟大的冒险，那是人类心智曾经发起的冒险。

——*Feynman Lectures on Physics*, Appendix

研究机构和科研大学在目前的集中，有明显的危险。

——Letter to Professor M. L.Oliphant, regarding expanding research overseas（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 82）

许多物理学家工作非常努力，试图凑成一幅大图景，把万事万物统一为一个超级绝妙的模型。那是一个令人雀跃的游戏，但目前关于这幅大图景是什么，这一伙儿思辨者与另一伙儿思辨者，没有达成一致意见。

——QED：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 150

如果我在拉斯维加斯赌博，我要把一些钱押在轮盘赌的92这个数字上，我旁边的那个女孩把饮料洒了，因为她看到熟人了，因此我停了一下，然后再赌，结果就是92，我能看得出来，为我准备的整个宇宙进程，挂在这么一个事实上：某个小光子撞在了她视网膜的神经末梢上。

——Lectures on Gravitation

科学没有目的——工程研究有目的。我们最大的进步，来自无心于功用的那些研究者，他们仅仅为乐趣，为满足好奇心，渴望理解事物。

——Notes from Los Alamos

为了控制原子弹，不必停止原子研究。研究被派了什么用处，这才是唯一真正需要控制的事。

——Notes from Los Alamos

如果我们的能力最终得到了发展——这种发展，我认为势不可挡——能看到在原子水平上我们的所作所为，那么解决化学和生物学的难

题会得到巨大的进展。

——Notes

科学中没有一个精确的陈述能穷尽任何事。

——Notes

物理学观念进入外在世界，应用于社会和心理学等，此时发生的事情，是那些观念被歪曲到如此程度，变得琐屑、平淡、呆滞，变成完全不准确、不精确的东西。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

你必须停下想想，真正着迷于这种复杂性——复杂性就是自然的那种不可思议的本性。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我认为，电和磁的发现，以及最终被琢磨出来的电磁感应，多半是历史上最具根本性的变革，是最不同凡响的事情，是历史上最重大的变化。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

在谈论某个领域的观念对另一个领域的观念的重大影响时，搞不好就会丢人现眼。在如今这种专业化的年月，能深入掌握两个不同领域的知识的人凤毛麟角，他们不把自己搞成这种或那种傻瓜。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 3）

只准最好的人加入我们，那么在我们内心深处，岂不是自认为我们

一定真是最好、最棒的人；我当然相信我确实非常好，但那是一件私事，我不能公开承认我真好，我不能到这么一个地步，我居然有胆子决定这个人，或者那个人，没有资格加入我的精英俱乐部。

——Letter to Dr. Detlev W.Bronk and the National Academy of Sciences, August 1961（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 108）

我为你介绍了一些规范理论，你该记得。但是，我必须承认我对那些理论高兴不起来。它们像地图，显示不同的粒子。正如一幅普通的地图显示山峰，却不告诉你为什么那里有山。你仍然需要发现地球是怎么运作的。

——BBC interview, “Beyond Present Theories”

有时候，科学意味着发现事物的一种具体方法。有时候科学意味着所发现的事物中产生出来的知识。科学或许也意味着你能做的新东西，或是你创制新事物这一过程本身。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 5）

在学科学的时候，你学着操作试错法，学着培养别出心裁、自由探究的精神；这种精神大有价值，远超于科学之外。你学着问自己：“做此事，有更好的方法吗？”（对此的回答，并非条件反射：“让我们看看，在美国他们是怎么做的。”因为肯定有比美国更好的办法！）

——“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

[谈启示]后来，你想：“为什么魔鬼如此蠢笨，居然没有看到这个？”不仅你是对的，科学史也是对的。你可以一直看人类历史，并且玩味为什么他们不曾早二十年或者早十年想到那个，那取决于步调。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

我设想实验物理学家必须常常以羡慕之眼看卡默林·翁尼斯（Kamerlingh Onnes）那样的人，他发现了低温那样一个领域，这个领域似乎没底，你可以往下走，再往下走。这么一个人，当时是一个领袖人物，在科学冒险中暂时是唯我独尊。

——*There’s Plenty of Room at the Bottom*，1960

理解空间，其实意味着理解从另外一个角度看事物可能是什么样子。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

没有哪个领域能做全部的研究。研究导致新发现，导致新问题，那有待于更多的研究来回答。

——Letter to student Mark Minguillon, August 1976（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track,* p. 306）

我十拿九稳地相信，下一门其应用陷入道德困境的科学，是生物学；如果物理学难题似乎是难的，那么与生物学知识的发展相关的难题将是巨大的。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

世界在绕圈子，因为劳动分工——甚至志愿者的劳动分工——产生不同的意见和利益。我希望人人不像我那么想问题——如果我发现别人那么想，我就改变我的观点。因为路数多了，真正的进步必然由此而生。我们必须尝试每种事情。

——Letter to John M. Fowler, March 1966

我不会说我的物理学研究配不上那个奖，但站在人类立场上说，身为一个诺奖得主，一个重要的科学家，我配不上那个奖。我配不上，没别的。我是那种游手好闲的主儿。我穿着睡衣，在地板上用纸和铅笔工作，我炮制了东西，对吧？

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

但我们必须矢志向前，我们只管矢志向前，我们就会一直向前，我们就发现更多的东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961

顺便说一句，我或许一开始就说，如果一个事情不是科学，它不见得坏。比方说，爱情不是科学。因此，如果某个事情据说不是科学，那不意味着它有什么毛病；那仅仅意味着它不是科学。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961

我到城里去买一些货，我带着一个废纸篓和其他东西。爱森巴德（Eisenbud）是个理论物理学家——我们碰到了——他在街上跟我擦肩而过。“哎，”他说，“你那样子很像是一位优秀的理论物理学家。你弄回来一些合适的工具——一块橡皮，还有一个废纸篓啊。”

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈爱因斯坦]他穿着这种毛衣，里面没有衬衣，没穿袜子——正如大家都说的那样——在讨论中，事事处处，他总是这么一个温和的好人。他是这么一个有趣的人，你喜欢跟他谈话。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives

with the Center for the History of Physics）

你知道，在基本面上，自然看起来非常、非常奇怪，到末了却以某种方式产生自然现象，那样子跟你起初想的非常不同。那无甚不妥。你必须把事儿想透彻，你不可一下子跳到错误结论上。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈第一次核测试]声学总给我深刻的印象。声学对我别有意味。视觉的东西大大不如。我听到爆裂之声的厚实感，在20英里（1英里约为1.6千米）之外，我就知道这玩意儿还真是个东西，我就兴奋了。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我觉得我的麻烦，是不把东西写下来。我发现东西，然后别人也发现了，然后那就不值得一写了。比方说，我搞出的量子引力论，到了无限更高的级别——我是说，到了一种水平，到了一个细节，无限更高哈——比我知道的任何其他人都高。但它不完善，有些瑕疵，因此我还没把它写出来；但那简直是疯傻——到如今都五年了。我应该写个文章。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

它怎么了——这有趣，这是科学办事的路子，我发现——当人相信某事，他们就会看到几个事儿与它相似，把它归因于其他的某事。于是他们就相信其他的某事存在。于是全部其他不中意的事情都成了确凿的证据，其中没有一星半点的东西是过硬的，但为数似乎蛮大。但是，当你幡然醒悟，说那个其他某事不是真的，全部确凿证据就顿时烟消云散。我是说，这仅仅是一种小打小闹——那仅仅是选了一个特别的盘子，看上去它的方向不错。那不硬。因此，你可以建立一个论点，相信

某种东西，然后认为它分量蛮重，等你真的去仔细看看它，那分量是很轻的，每样东西都弱不禁风，凑起来也没多少东西。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我总是采取这么一种态度：我只解释自然的规律——我不必解释我的朋友们的那些方法。我不必学习我的朋友们的体系和方法——只看自然的那些——那是办事的一种非常经济的路数。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

只在告诉你某个实验没有做成的时候，科学才有用；如果它只告诉你那些进展顺利的事情，科学就没什么好的。

——*Character of Physical Law*, p. 164

因此从心理上说，我们必须把全部理论装在脑袋里；对于完全相同的物理现象，每一位理论物理学家好歹要知道六七种不同的理论阐述。

——*Character of Physical Law*, p. 168

我们得到了爱因斯坦和玻尔那种人的训练，充分认识到一个观念乍看起来荒谬不堪，却能在后来捋得很顺，与经验相谋和；就是说，事情看起来绝对发疯，诸如没有同时的时间，没有确定性等，是完全可能的。

——CERN talk, December 1965

写文章，在科学期刊上发表，把研究搞得尽可能功德圆满，我们在此就有一个习惯，掩盖全部来龙去脉，不为死胡同担心，不交代你起先怎么得到了错误观念，如此等等。

——From Nobel Lectures, Physics 1963—1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

研究是一种获得信息的办法。你造炸弹，不必指望研究——你发现怎么造炸弹，那指望研究。

——Notes from Los Alamos

我们是什么，我们的归宿是什么，宇宙的意义是什么，关于这些有趣的问题，如果你指望科学给你全部的答案，我就认为你很容易水中捞月一场空，然后就为这些难题寻找一种神秘的解答。一个科学家，怎么会要一个神秘的解答，吾不知也。

——*No Ordinary Genius*, p. 251

因此，事情就跟科学有关系了。从某种意义上说，科学是天堂之门的钥匙，同样的钥匙也能打开地狱之门，而我们也没有什么说明书，告诉我们那门是哪个门。我们该把钥匙扔了，永远失去通达天堂的道路吗？或者，我们应该带着这个问题斗争，找到使用这把钥匙的最佳方式？

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 6）

控制科学发明，科学就完了。科学是我们全部工程发展的源泉——小心别拿控制把科学杀死了。

——Notes from Los Alamos

单是各门科学本身，就包含一个事关危险的教训：大家居然相信前代最伟大的导师们不可能犯错误。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is*

Science?”，April 1966

科学的这些思想，止于敬畏与神秘之中，迷失于不确定的边缘，但显得如此深远、如此感人，那么说宇宙的全部编排只为做上帝的戏台，让上帝观看人类为善恶的斗争，这个说法就似乎不恰当了。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 39）

Curiosity and Discovery
好奇与发现

米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

我越是问为什么，事情越是有趣。那是我的看法，事情越复杂，它越叫人感兴趣。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我爱挑战。我总挑战。其实，我较晚的爱好，最初跟科学无关，但总是挑战。撬锁、解码、分析不知如何解读的象形文字——你瞧，这些事儿都是相同的。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

改天，我得去牙医那儿，他在准备电钻，要在牙上钻孔；我想，我最好赶紧思考某件事儿，否则太遭罪了！然后，我就想电钻的小马达在转，什么玩意儿让它转，里面是怎么弄的。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我认为，不断尝试新的解决办法，是做每一件事的方法。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 9）

我想知道为什么。我想知道为什么。我想知道为什么我想知道。我想知道为什么我想知道，为什么我想知道，为什么我想知道！

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.48；*Classic Feynman*, p.46

一个傻子能办到的事儿，另一个傻子也能；另外某个傻子为此打败你，这不应该让你焦躁：你应该抖擞精神，发现一点东西。

——*Feynman Lectures on Computation*, pp. 15—16

假设有人在探索一个新大陆，好吧？他们看到水在地上流，他们以

前见过那个，他们称之为“河”。因此，他们说他们在探索，要发现源头，他们逆流而上，果然，源头在那儿，一切都不出预料。但是，且慢，当他们走得足够远，他们发现这整个系统是不一样的：那里有一个大湖，或泉水，或转圈子的河。你可能说：“哈！他们失败了！”但他们一点没失败！他们蛮有理由觉得他们正在干的事儿，是探索这片土地。

——*Omni* interview, February 1979

只要我不知道他们发现了它，因为那个时候我知道了某个事情，我发现了一个规律，我能对自然做出预言，那就是我的目标。有某个别人已经做出了那些预言，这个我不知道，这个事实无论如何不会扫兴。因此，那确实是一个开心时刻。我希望有更多那样的时刻，但我不向诸神乞求每样东西。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

鼓捣，就是答案。做实验就是一直鼓捣。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

异想天开，观看世界，想象事情，这类事情其实不是异想天开，因为你只是努力想象事情实际是怎么样的，有时候事情就不期而至。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

你现在来找我，采访我，你问我关于最新的发现。你知道，没有人在街上问一个简单的、普通的现象，如“那些颜色怎么样？”之类。我们或许可以做一个好的访谈，解释全部的颜色。蝴蝶的翅膀和全然重大的问题。那个再说吧。你想要那个最终的大结果，那说来话长了，因为我处在发现关于世界的事情的那种400年非常有效的方法的末尾上。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”，1972

真相总是好玩的，这意思是，它能解释的东西，远超过你在开始琢磨它的时候的期望。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961, Q&A

我理解不了一般的事情，我必须在心里寻思一个具体的例子，看它怎么走。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.244；*Classic Feynman*, p.257

人类要不想止步不前就不能停止思想。人类已被阻滞了很长一段时间。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 56）

另外，在探索新规律的时候，你总有这种心理上的兴奋，觉得你眼下正在寻找的那个发疯的可能之事，或许还没有人想到呢。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

任何规律的例外情况，本身是最有趣的，因为那向我们显示：这个老规律是错误的。然后，最叫人兴奋的是，发现正确的规律是什么，如果有正确规律的话。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 16）

我必须理解世界，你知道。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.231；*Classic Feynman*, p.242

[谈理论物理学]理论物理学像是探索一片新的野地。如果你计较你发现的东西，你就可能对自己说“我想事情不像我认为的那样，我还是不要探索了吧”，你的探索就不会成功。不对，发现事情是怎样的，才是乐趣，而不要从开始就带着先入之见；等你发现事儿不是那样，你就失望。那是荒谬之事，因此我不往心里装那种事情会怎么样的想法，我只努力尽我所能多多地发现。

——BBC interview with John Maddox, “Scientifically Speaking”, April 1976

如果你钻研得足够深，几乎样样事物都真是有趣。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 415

我们生活在一个英才辈出、独一无二、令人兴奋的奇妙时代。未来时代的人看今天，会非常嫉妒。生活在一个发现了基本规律的时代是何滋味？你不能发现美洲两次，我们会嫉妒哥伦布。你说，是啊，但如果不是美洲，那有另外的行星有待于探索呢？确实如此。如果不是基本物理学，那就有其他问题需要研究。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 440

在这里做实验，就能预言在那里会发生什么事儿，此事可能，真乃奇迹。如果你知道某事的规律，你就能预言之，这倒也不算奇迹。换言之，真够奇迹的，是毕竟存在规律，而确为奇迹的事情是能发现规律。那是另外一种奇迹。你瞧，知道一个规律，以琢磨出如此这般将会做什么事，然后让自然做那件事——妥了，那挺好啊。但是，看看其他方面，要猜一下，要知道那里潜藏一个模式，你告诉自然，说在这个实验中她会做那件事——不凭推断，严格地说，不从已知之事中做推断，而根据已知之事做猜测——那在我看来是一件奇妙的事情。我总想做那样

的事。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

即便在我那本发疯的书里，我也不曾破费笔墨——但事儿是真的——画画儿，破译玛雅文字，打鼓，撬保险柜，等等，我都竭尽全力。生活的真正乐趣，就是这种不停的考验，实现任何潜力，能走多远，就走多远。

——Letter to Mr. V.A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 414）

我认为，我们正在干事情的方式，是我们在探索——我们试图尽可能多地发现世界的事情。人们对我说："你在寻找终极的物理定律吗？"不是，我不找那个。我寻寻觅觅地要发现这个世界更多的东西。如果到头来存在一个简单的终极定律，解释得了万事万物，善莫大焉；发现那个，敢情好。如果到头来事情像个洋葱，有几百万层，我们就恶心了，腻味一层层地看了，那就是世界的路数了。但是，无论结果怎样，那都是自然，自然是我行我素！因此，当我们去研究自然的时候，我们不应该事先就断定我们会发现什么东西；会发现更多东西另当别论。

——*No Ordinary Genius*, p. 252

我常常想那个事儿，特别是我教一些深奥的技巧，如对贝塞尔函数做积分计算的时候。我看到方程式，我看到字母是彩色的——我不知道为什么。在我说话的时候，我看到杰恩克（Jahnke）和艾米德（Emde）的书里贝塞尔函数的模模糊糊的样子，js 是浅褐色的，ns 是紫盈盈的，xs 是深棕色，四处乱飞。我就想知道，在学生那里，那是个什么鬼样子。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 223

我的科学兴趣，仅仅是发现世界更多的东西；我发现得越多越好。我喜欢发现。

——*No Ordinary Genius*, p. 252

我再不曾犯那个错误，读专家意见那个错误。但是，你只有一辈子可活：你把你的错误都犯过了，你就学会了干什么——而你也行将就木了。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.255，*Classic Feynman*, p.281

从那之后，我对“专家”的任何东西都不注意了。什么东西我都自己计算。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.255，*Classic Feynman*, p.281

不到深刻地理解这个难题的极其复杂之处，你是不会对它发生兴趣的。那么，每一个问题都有趣。

——Notes

做研究不为实用。做研究为发现了东西而兴奋。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 9）

了解这世界的其余部分是怎么样的，这种多样性是值得的。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.63；*Classic Feynman*, p.63

第二天在会上，我见到了斯洛尼克（Slotnick）。我说：“斯洛尼克，我昨晚把它干出来了，我想看看我的答案和你的是不是一样。每个

耦合，我都得到了一个不同的答案——但是，我愿意和你仔细检查一下，因为我想把我的方法搞稳妥了。”他说：“你昨晚上干出来了，你什么意思啊，它花费了我6个月啊！”那在我是一个销魂的时刻，跟得了诺贝尔奖似的，因为那让我确信，我真有某种方法和技巧，明白怎么做事情，而别人不知道怎么做。那是我的辉煌时刻，我意识到我确实搞出了有价值的东西。

——From Nobel Lectures, Physics 1963—1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

那一定和好奇心有关。那一定和人想知道什么玩意儿让某个东西做某个事儿有关。那么，如果你想得到答案，你就发现事情都是互相联系的。造就风的那些东西，也造就浪，而水的运动相似于空气的运动和沙的运动。事物有共同特点，这个事实变得越来越普遍。我们在寻找事物如何运作的方式，寻找什么力量使万物运作。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”, 1972

关于我们在哪儿，我们是什么，那是好奇心。发现我们在一个大球上，我们一半人头朝下粘在大球上，大球在空间中自旋，有一种神秘的力量笼住了我们，绕着一团巨大的燃烧气体转动，烧的火完全不同于我们能制造的任何火（好吧，我们现在能制造那种火——核火），但是许多人觉得这故事比其他人通常编造的那些故事更刺激得多，那些人为宇宙忧虑呢；说我们住在一只乌龟的背上，或者其他什么东西上。那都是些好玩的故事，但实情是更非凡。物理学给我的乐趣，是它揭示的真相是如此非凡，如此有趣。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”, 1972

当我们看任何问题看得足够深的时候，同样的战栗，同样的敬畏和神秘，一而再地光临。有了更多的知识，就来了更深更妙的神秘，引诱你继续钻得更深。从来也不要担心某个答案或许被证明是令人失望的，而要带着愉快和自信，我们翻腾每一块新石头，去发现不可想象的怪事，那种怪事继续导致更妙的问题和神秘——那肯定是一场宏大的冒险！

——“The Value of Science”, December 1955

[谈物理学难题]大多数时候，我解决不了那些难题。等了好长时间，我才偶尔解决。因为我选来研究的那些难题是相当大的，是别人都没解决的难题；当你解决了别人解决不了的某种东西的时候，你就得到了一点骄傲。你就干得更带劲。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

我不知道任何事情，但我确实知道：万事万物都有趣，只要你走得足够深。

——Interview with *Omni*（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 203）

世界上唯一的正经事儿，不是用处。理解世界是什么构成的，是有趣的。正是同样的兴趣，人的好奇心，才促使他制造望远镜。发现宇宙的年龄，有什么用？那些在遥远之处爆炸的类星体，又有什么用？我的意思是，全部天文学有什么用？一点用也没有啊。然而，它有趣。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

一个伙计进了我的屋子，发现我探出一扇敞开的大窗，其时是严冬，一只手掐着一个罐子，另一只手搅拌。如果你不停地搅拌，凝胶会不会凝固？我对此好奇。

——“It’s as Simple as One, Two, Three” interview, December 1978

我不回答你的问题，但我告诉你，问“为什么”的那种问题有多么难。你必须知道你可以理解的是什么东西，你必须知道什么是允许可以得到理解和知道的，什么是你不理解和不知道的。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我喜欢拼图游戏：某个伙计努力搞出某个东西，意在难为另一个家伙；把事儿办好，必有门道。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.139，*Classic Feynman,* p.155

你永远不要怕会出来某种新生事物。天要下雨，到时候就来，那时你会努力理解它。但是，那会非常令人兴奋！

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961, Q&A

那是我研究的方法——理解某种事情，手段是努力把它琢磨透。换言之，通过创造它来理解它。当然，不是把它百分之百地创造出来，而是捡起一个线索，作为往前走的方向，而不记细节。你为你自己把那些东西琢磨透。

——*Feynman Lectures on Computation,* p. 15

活在我们的时代，有这么奇妙的谜题可以费脑筋，不有趣吗？

——Letter to Dr. Victor F.Weisskopf, January—February 1961

他常常这样开始谈事情：“设想一个人要从火星上下来，要看看这个世界。”那是看这个世界的一个非常好的方式啊。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

我有点试图想象，如果我生在今天这个时代，我会有什么遭遇。我很害怕啊。我想，书太多了，脑子会无所适从。如果我感兴趣，我有那么多东西要看，我会发疯。太容易是这样。或许会疯，或许不会。这或许仅仅是一个老派的看法吧。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

有时候人们说："你突然鼓捣这个，那是怎么了？"那仅仅是因为我最终弄成了一些事儿。我常常鼓捣杂七杂八的许多事儿，搞不出东西。然后，就无声无息。大家就说："你为什么突然搞这个啊？"那个，是的，我最终在这件事上有了进展。我不是突然搞它的啊。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我们孜孜以求的，是万事万物如何运作，是什么使万事万物运作。在历史上首次发生的事，是我们首次发现表面的事情，显而易见的事情；逐渐地，我们问更多的问题，对事情挖掘得深了一点，我们需要做复杂一点的实验，来发现事情。

——Interview with Yorkshire Television program, "Take the World from Another Point of View"，1972

另外许多人，给你讲洛斯阿拉莫斯，认识政府组织那类东西中的级别较高的人物，那些人物为某种重大决策劳心伤神。我不为重大决策劳心伤神。我总在下层的某个地方扑腾。

——UCSB talk, "Los Alamos from Below", February 1975

我们在物理学中取得这么大的进展，其原因嘛，或许是因为它太容易。

——*Great American Scientists*, p. 24

比方说，我研究金属组织学，因为那是一个我一无所知的领域。我总有兴趣了解某种我一无所知的事情，你知道，在冶金学中，在金属学中。我特别记得那个过程。那时候，我第一次发现你的物理学知识大有用处，都是相通的嘛。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我认为正确的方式，当然，是这么说的：我们必须寻找的东西，是事情的整体结构性的相互作用；全部科学，不仅仅是全部科学，而是全部种类的心智努力，都是孜孜以求等级结构的联系，把美和历史联系起来，把历史和人的心理联系起来，把人的心理和大脑的工作联系起来，把大脑和神经冲动联系起来，把神经冲动和化学联系起来，如此等等，向上也朝下，双向的。

——*The Character of Physical Law*, p. 125

我回答不了成年人的问题，那是坏问题。通常他们想知道他们看到的某个新词的意思，那是他们永远也不理解的某种东西。我讨厌成年人。年轻人对自然好奇。

——*Columbia Dispatch*, October 22, 1966

我断定，在我小时候，我喜欢这门课，因为它好玩。我曾经喜欢自然，研究自然是因为自然好玩。因此，我应该干的事儿，是与自然做游戏，只要我觉得奇异和有趣就好——我仅仅玩就行了。你懂吗？就像我小时候那样就好——发现事物之间的关系，干这个，干那个，我觉得喜欢的任何事儿。我必须研究这个问题，因为它重要；我必须研究那个问题，因为它重要，或者因为它是人人都期望我干的事儿。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

别的伙计读的那些东西，我确实读得不多。我读他的那些假定是什么，如果那些假定似乎有道理，我就把结论搞出来。绝大多数时候，我不必读他怎么把结论搞出来。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

有时候，真相先被发现了，那个真相的美或者“必然性”是后来才看到的。

——“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark, October 1973

但是，如果你一直证明别人已经证明过的东西，得到了自信，你能解决的问题越来越复杂——仅为乐趣——那么，有朝一日，你回过头来看，发现没有人那么干过！

——*Feynman Lectures on Computation*, p. 16

我想搞科学研究——就是说，更多地发现世界是怎么运作的。那不是一个秘密；世界的运作不是秘密。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 422

氦的难题，最难的部分，是单凭物理推理得到解决的，却写不出任何东西。仅仅站在那里就行——你知道，我记得我是类似于倚在厨房洗碗池那里，你懂的，看着它，仅仅在思考。你能办成那件可恶的事儿，不必把东西写下来。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with

the Center for the History of Physics）

当你解释一个“为什么”，你必得处于某种框架中，这个框架允许你认为某事是真的；否则，你就没完没了地问“为什么”。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

理解世界，理解它全部的复杂性，你开始觉得非常有趣。如果你努力跟上任何事情的步调，你在四面八方就走得越来越深。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我们知道的全部，是随着我们一直走，我们发现我们能够把碎片拼合起来，然后把不契合的碎片找出来，一直努力把这个纵横拼图游戏做成。但是，碎片数是否为无限，这个纵横拼图是否有边界，当然无人知道。那永远无人知道，直到我们——如果我们确实——有朝一日把那个画面拼成。

——*Audio recording of Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

那是开头，这个观念对我似乎如此明显，如此优雅，我深深地爱上了它。正如爱上了一个女人，只在你对她了解不深的时候，才有可能，因为你看不到她的缺点。那些缺点，在后来会变得明显，但在那之后爱情足够强大，把你和她捆在一起了。因此，我钟情于这个理论，尽管有全部的困难，我年轻的热情不为所动。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

我们生活在英才辈出的时代。我们生活在这么一个时刻，过了这个村，就没有这个店。这些发现，不可能搞出两次。你不能连续发现美洲两三次，确实不能，你也不能不止一次地发现核力和电。

——BBC, “Strangeness Minus Three”，1964

真相处在流行的方向上，这种机会是很高的。但是，在极少的时候，真相在相反的方向上——在明显是那个不流行的场理论的方向上——谁发现它呢？只能是某个自我牺牲的人，手段是从一种特异的不流行观点，一个他或许必须为自己发明出来的观点，自学量子电动力学。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

How Physicists Think
物理学家如何思考



与保罗·狄拉克在华沙相对论会议上，1962年7月

加州理工学院提供照片

总有可能证明任何确定的理论是错误的；但注意，我们永远不可能证明它是对的。假设你发明了一个很好的猜想，计算其结果，每次都发现结果与实验符合。这个理论就对吗？不是那样的，那仅仅没有证明它错了而已。

——*Character of Physical Law*, p. 157

人们仍然在设计新的陀螺、新的装置、新的方法，其中的一项或许会很好地解决那些难题，比方说，必须把轴承搞得如此精确那种荒谬劲儿。如果你拿陀螺玩一阵，你会看到它的轴的摩擦力不小。说其荒谬，如果轴承造得摩擦力极小，轴会摇晃，你就不得不为一英寸的百万分之一操心了——那就可笑了。更好的方法必定是有的。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 129

在今天的物理学中，关于什么是能量，我们没有任何知识，意识到这一点，是重要的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 4, October 6, 1961

思考无非是在心里自言自语。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 217

物理学家喜欢这么想，你必须做的全部事情，是说："这些都是条件，现在接下来会发生什么？"

——*The Character of Physical Law*, p. 114

大量规范工作是写文章和组织工作。我想到一个更好的方法、一个

更好的方法、一个更好的方法，也能搞规范，能证明规范。我做的总是不多——我的意思是，事情仅仅是更干净、更干净、更干净。那像打磨一个粗糙的花瓶。其形，你知道你要什么样，知道它是什么样。把它磨光，把它搞干净，然后谈其他的事。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我思考某事的时候，我沿着一种确定的路线走，然后我碰了壁，我就回去，我就想——我很容易就被搞糊涂。我很容易就陷入混乱。那是你在做思考这档子事儿的时候的可怕之事。那像垒起的一堆纸牌，整个塌了；你继续垒，又塌了。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我总是试图用尽可能最少的知识去工作，很少知道其他人在做什么，因为越是个人主义，我越是快乐；如果我步人后尘，我就被他们说的话搞糊涂了。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我不喜欢评断他人，或他人的研究，一点都不喜欢。我不想评断别人的研究工作。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

每个夏天我都旅行，我想这一次，我到哪儿呢？我说，去它的，我觉得我不喜欢旅行了。不旅行，我要做生物学实验。我要到一个不同的领域，而不是到一个不同的地方了。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我有一个原则，我写的任何东西，我都应该理解个透彻；与我知道的相比，落在纸面上的应该稍微少一点；无论我写的什么，会是对的。我不喜欢某个人写的那论文；提出一个观点，三个月后，大家发现那是个傻玩意儿。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

那在我是一件烦人之事，因为我意识到那意味着全部这些噪音、这些麻烦，以及不法行径，你懂吗？那就有我不尊敬的报人，我对炒作不尊敬。这个世界充满热空气，如今仅仅是多余的宣传垃圾，那都不是真的。我只是不想蹚那个浑水，我也不知道怎么脱身。我仍然设想我可以不接电话。因此，我把电话从叉簧上拿下来。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

许多事情，我原本以为我理解不了，是因为我对那个课题知道得不多，这叫我烦躁，其实我不理解那些事情，是因为它们不合逻辑，站不住脚。

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

但我搞研究不走直线。所以，朝一个方向，我向前跳，我期望与另一个方向殊途同归，功德圆满，对吧？但是，向前跳是管用的。我完全不认为真的能够向前跳。我认为我能够干一个更大的事，我就为此研究，但事情一点也没变大。我有些糊涂了。但向前跳是非常重要的。

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

科学家通常也看世界的其他部分，你知道他们觉得万事万物有多么荒谬，每个人有多么愚蠢，海军的伙计们有多么笨，他们量距离的方式是不同的，因此，呵呵，但你应该为你自己羞耻，我们应该为我们自己羞耻，因为，比方说，量任何东西的方式，是没有区别的。

——Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

如果你曾经坐出租车去赶飞机，你突然发现你正在用的是夏时制，而不是标准制之类，你不知道你能否赶上飞机，你就努力琢磨，时间是提前还是延后？你知道那多么麻烦。

——Audio recording of lecture on realtivity, 1967

我从你的封箱里把这东西拿出来，把它放在冰水里，我发现，如果你在一段时间在它上面加一些压力，然后把压力撤除，从冰水里拿出来，它就缩不回去。它保持不变的尺寸，换言之，起码在几秒钟之内，不止几秒钟，在32℉的温度中，这种特殊的材料没有弹性。

——Transcript of the hearing of the Presidential commission on the space Shuttle Accident, February11, 1986

不合适的事情，是最有趣的。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 223

物理学家应该惭愧：天文学家一直问："如果你有一大堆垃圾，引力把它们牵扯到一块儿，还旋转，将来会发生什么，你为什么不为我们琢磨出来？你明白这些星云的形状吗？"没有人曾回答他们。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 127

我一旦沉浸在物理学中，我就忘了我在跟谁讲话。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

你将不得不打起精神应对此事——不是因为那很难理解，而是因为那绝对荒谬：我们做的全部事情，是在一张纸上画一些小箭头——妥了！

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 24

这个似非而是的情况，仅仅是现实与你觉得现实应该如何的那种感觉之间的一个矛盾。

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 3，p.18—19

那不是一个悖论，但它仍然非常怪异，你相信吗？关于这一点，我们大家是一致的。物理学因此才令人心醉神迷。

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 3，p.18—19

说话的真正麻烦，是语言不精确。问题是要清晰的语言。要紧的是要把观念清楚地传达给另外一个人。关于一个短语的意思，每当有所疑问，那只需要措辞精确，然后把精确的说法放在有疑问的那个地方。把任何事情说得绝对精确，确实颇不可能，除非那个事情非常抽象，远离真实世界，不代表任何真东西。

——"New Textbooks for the'New'Mathematics"，*Engineering and Science 28*，no. 6（March 1965）：9—15 at 14

你已经永远忘记了的事情，你能把它们重新创造出来——但愿你不

要忘得太多，但愿你知道得足够多。换言之，有那么一个时候，你会知道太多的事情，当你把它们忘了的时候，你可以用你还记得的零碎把它们重建起来。因此，你知道如何做三角测量，具有头等的重要性——就是说，从你已经知道的东西中，知道如何琢磨出某种事情。这是绝对必要的。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 39

事出偶然，从基础物理的观点看，最有趣的现象，当然是新地方，是基础物理不管用的地方，不是它管用的地方，因为那里就是我们发现新规律的地方。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*， Lecture 2, September 29, 1961

你记住公式，对你自己说："我知道全部公式；我做的全部事情，是琢磨着怎么把它们都放在这个问题中！"那办不了事。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 38

首先，我要告诉你这个理论是什么；我要告诉你它是什么样子，我们干吗要做那些计算，这东西是什么。否则你怎么理解"世界图景"这个东西是什么。那是一个"世界图景"，因为它描绘世界上的全部现象（放射性和引力除外）！那是很多现象了！如果万事万物都得到了彻底的理解，那么在你说了一句傻话的时候，它就应该能解释听众们的笑声！

——"QED：Photons—Corpuscles of Light", The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

事实上，一位物理学家知道的总量是很小的。他只需要记住一些规律，那些规律让他从一个地方走到另一个地方，而他竟然是对的。

——*The Character of Physical Law*, p. 45

我了解到，对看上去不同的许多领域而言，物理学是一个非常有用的背景；世界是同一个，物理规律不那么无用，你知道我是什么意思？物理规律管用。是的，它们管用，你可以在不同领域中用这些观念，你就出人头地，因为有大量事情对你而言是一目了然的，别人却必须学习。但是，当然，你也必须通过经验来学习。我不是说只有物理学管用——左右开弓会比任何人厉害得多。但是，研究物理学，在哪儿都好，那是真的。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

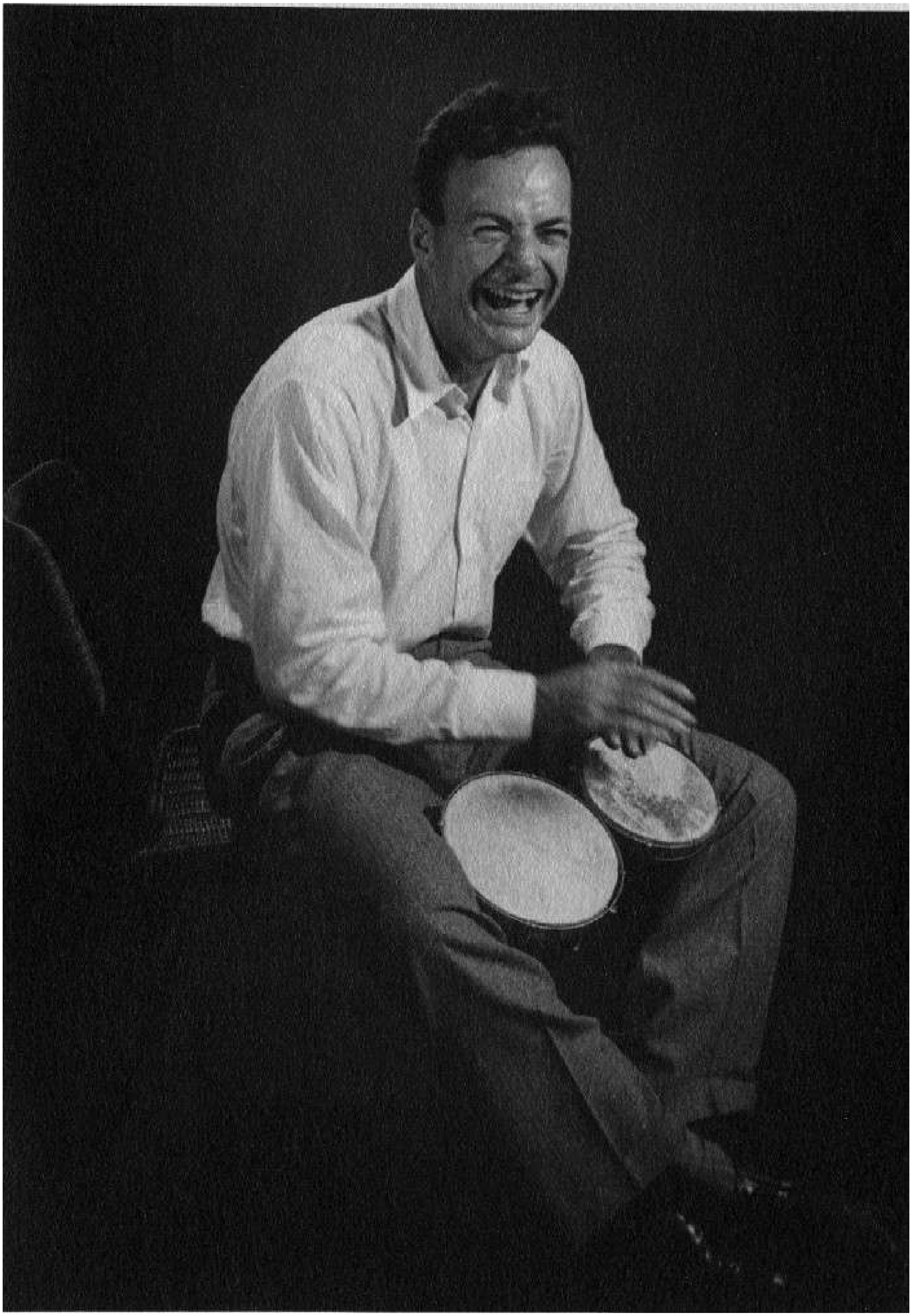
那是一个非常艰难的活儿。那是好多工作啊。那么，我们做那个，所为何来？因为那令人兴奋，因为这么一个事实：我们每次得到这些事情中的一件，我们就有一次激动——一条大鱼啊——我们有了关于自然的一个新看法。我们看到了自然本身的别出心裁，但愿我可以这么说。那是自然运作的怪癖。人心费了好大的纠结，才理解这些事情。科学发展的真正价值，就这种联系来看，促使我一直研究的事情，就是这个，是理解自然时的困难。这些猴子，站着看自然，发现自然确实好看，他们就不得不尽力打磨心智。

——BBC, “Strangeness Minus Three”，1964

我碰巧知道这个，我碰巧知道那个，或许我知道那个；我从那里琢磨每样事情。明天我或许忘记这是真的，但我记得其他事情是真的，因此我就把它完全重建起来。我从来拿不准我应该从哪儿开始，在哪儿结束。我只是一直记得足够多，因此在记忆模糊的时候，有些碎片就掉出来了，我每天都能把那个东西重新拼凑起来。

——*Character of Physical Law*, p. 47

The Quantum World
量子世界



哥本哈根的克莱门斯摄影

米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

我要告诉你的事情，是我们在研究生院教给那些学物理的三、四年级学生的东西——你觉得我为你解释，你就能理解？不行啊，你不会理解的。那么，为什么我还要拿这件事烦你？你不能理解我将要讲的话，你为什么还一直坐在这里？我的任务是叫你相信，不要走开，正是因为你理解不了。你瞧，我那些研究物理学的学生不理解它，那是因为我不理解它。没有人理解它。

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 9

科幻小说的作者，把我对正电子的看法解释为在时间里倒退的电子，他们不曾意识到这个理论与因果原理完全不矛盾，也无论如何不暗示我们能够在时间中逆行。

——Correspondence with David Paterson（BBC），February 1976

在我成熟以来，我一直致力于把量子力学的那种怪异性用简单的语法表示出来，我已经讲了很多课，越来越简洁。

——Letter to Dr. N.David Mermin, March 1984（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 368）

引力或许是量子力学在大距离上失败的一种方式。

——Letter to Dr. Victor F.Weisskopf, January—February 1961

以前和以后，不是绝对观念；它们依赖于观点。那和什么东西在前、什么东西在后那样的问题相似。如果我稍微转身，我就能改变布局。两个东西可能显得在离某个人相同的距离上，但显得在离另一个人不同的距离上。与此相似，从某个观点看，两个事件显得同时发生，在

另一个观点上，显得不同时发生。这促使我们得到作为第四个几何维度的时间呈现方式。

——From notes for “About Time” program, 1957

我真相信量子力学在根本上是正确的，而全部的问题仅仅是心理上的麻烦。要习惯量子力学，极端地困难，因为当你不看某个东西，它就不是这样，而是那样，要把这个观念搞成常识和一般知识，那是太过分了。“看在上帝的面上，当你不看这个世界，你甚至不能说它是这样或者是那样？但它必得是这样或那样”，你能这么说。不，你不能那么说，否则你有麻烦！大家说事情不可能如此疯狂。事实必定是大自然不很像是那样。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

现在，我说到理论物理学的最大耻辱了。在最近25年里，不止那么长的时间，那将近40年，场论一直存在，仍然没有一个人能够精确计算其结果。举例说，连汤川秀树的场论预言也得不到准确的计算。在电动力学中，我们能近似地计算，那仅仅因为耦合太小了。我们在耦合常数中进行了一系列的扩展。当我们不能进行这一系列扩展的时候，我们就蠢得琢磨不出结果是什么。那是一桩罪行。我们目前进展不大，此乃原因之一。

——Caltech lecture on particles, 1973

如果有人说，“我们将发现终极粒子，或统一场定律”，或者会发现独一无二的某种东西，他就想当然了。如果事情出乎预料，科学家甚至更高兴。你以为他会说，“嚯，事情不像我期望的那样，没什么终极粒子，我懒得探索那东西了”？不是的，他会说：“那么，它究竟是个什么鬼东西？”

——*Omni* interview, February 1979

在量子力学的小尺度上的事物的行为，是怪异而奇妙的，理论物理学家一直试图拿这个小世界的趣事来取悦公众。

——“Theory and Applications of Mercerau’s Superconducting Circuits”, October 1964

今天最有趣的那些问题——也肯定是最实际的问题——明显是固体物理学。但是，有人说没有什么东西像一个好理论那么实际，量子电动力学理论肯定是一个好理论！

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 114

可以干得最好的事儿，是放松，玩味这个：我们的渺小，宇宙其他部分的浩瀚。当然，如果这个让你闷闷不乐，你总可以从另一面看事情，你多么大，原子与原子的部分不能与你相比，那么你就是那些原子的一个巨大的宇宙，那么你就能在宏观与微观之间顶天立地，从两股道上玩味大千。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

我们物理学家总是检查，看看有没有什么东西跟理论闹别扭。那是游戏，因为有什么东西不对劲，那很有趣啊！但是，到目前为止，我们没有发现量子电动力学有什么毛病。因此，我要说，它是物理学的珠宝——我们拥有的最大骄傲。

——*No Ordinary Genius*, p. 70

我们可以设想两个夸克和反夸克，包在一段香肠里——但是，移动这个香肠，涉及与香肠长度成正比例的惯性场或有效质量。

——“Mass Varying with Position”, Physics 230, 1987（R. P.Feynman Papers, California Institute of Technology Archives）

我想建造一百万个微型工厂，逐级地互为模型，同时制造。物理学原理嘛，照我看，不与逐个地搬动原子这个可能性相抵触。那也无意于违背任何定律；那是某种在原则上可以办到的事；但在现实上，那还没有办到，因为我们太大了。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 134—137

知道光的行为像粒子，是很重要的，尤其对你们那些上过学的人而言，在学校里，有人多半告诉你们光的行为像波那种说法。我现在告诉你们光的行为方式——像粒子。

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 15

报纸说，曾几何时，只有区区12人理解相对论。我不相信有这么一个时候。或许有一个时候，只有一个人理解，因为他是绝无仅有的一个伙计，抓住了相对论，然后他写了论文。但是，在大家读了那个论文之后，很多人以这样那样的方式理解相对论，为数肯定不止12人。另一方面，我认为我可以打包票地说，没有一个人理解量子力学。

——*The Character of Physical Law*, p. 129

量子电动力学这个理论，从常识观点看，把自然描述得荒诞。但它与实验完全符合。因此，你可照原样接受自然——荒诞。

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 10

我们第一个试图理解质子的实验，是把它理解为一种复杂的对象，像一块表，以高能把两块这种表撞在一起，看看齿轮之类以什么角度飞出来。这是典型的强子对撞，这涉及两个未知的东西，既是靶子，又是飞弹。

——Oersted Medal acceptance speech, 1972

我们常常在物理学上取得很大进步，手段是意识到某个层面的复杂性，是如下事实的结果：那些复杂性是由另一个层面的简单因素构成的。

——“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark, October 1973

[谈夸克的存在]然而，许多理论的争论反对这个观点。这些争论乍一看是很强大的，却似乎导致悖论。但是，一个接着一个，我们学会了怎么可能绕开这些悖论。我们或许正在第一次瞥见货真价实的强子动力学理论。

——“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark, October 1973

如果实验一如既往地认定质子里面必有夸克，那么这是理论显然会发展的路数：夸克有三个颜色，因此总数是九。有八种胶子。这个部件听起来复杂，但在数学上是简单的。长程力——听起来简单，在数学上却显得有点不自然。如何解释长程力，有一些建议，如考夫曼（Kauffmann）的，全都好像有点笨拙，缺乏内在之美；我们总期望真相有这种美。但是有时候真相先被发现了，这个真相的美或者“必然性”却是在后来才被看到的。

——“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark, October 1973

在我们的八种胶子和九种夸克之外，还会有电子、μ介子、光子、引力子和两种中微子，因此我们仍然会留下好多新粒子，有待于下一代人去分析。他们会发现那些粒子全是由在另外一个层面上的更为简单的原件构成的吗？

——“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark,

October 1973

质子和中子，仅仅是大约多达四百种已知物中的两种。这是一堆可怕的混乱，比门捷列夫时代的化学还糟糕，糟糕大约四分之一或五分之一。

——Caltech lecture on particles, 1973

如果这些预言一直管用，那么你就可以一直说：“是啊，东西实在不是由部分子构成的，但在这个方面，在那个方面，东西的德性就好像是由部分子构成的。”在物理学中，现实就是那样，这个观念甚至符合更广的一类实验。大家以前说东西是用原子构成的，在那个时代，有反对理由，说你从热力学中可以得到相同的结果。只有热力学属性是正确的。在那个特例中，随着实验一直在做，与热力学相比，东西是由原子构成的那个论点果然有大得多的一般性和正确性。

——Caltech lecture on particles, 1973

薄面上光的反射，以及任何其他现象上的光的反射，一直没有一个令人满意的模型。老式的古典观点令人满意：为了描述这些事情，一个合乎逻辑的法术，必得用量子力学的方法办成。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 2）”，October 1984

亚核系统的行为太奇怪，可与大脑进化出来的那种系统相比，大脑要对付非常抽象的分析：要理解冰，你必须理解其本身与冰非常不相似的东西。

——*Omni* interview, February 1979

但愿他们解释说，此乃他们最好的猜测，但他们很少有人这么说；他们抓住这么一个可能性：或许不存在什么终极的基本粒子吧，说你应

该停止工作，而应该对伟大的深奥沉思默想。“你想得不够深啊，首先让我为你定义这个世界。”算了吧，我要去研究世界，才不定义它！

——*Omni* interview, February 1979

我自我娱乐的方法，总是把量子力学的难处挤到一个越来越小的地方。

——MIT conference, May 1981

关于量子电动力学，我们目前的看法不完善，这不应该让我们无视已经取得的巨大进展。

——“The Present Situation in Quantum Electrodynamics”, Solvay conference, 1961

事情原来是这样：在微观尺度上，全部物理学定律都居然是可逆的：在时间中向前，在时间中向后——看起来相同了。但是，全部这些现象（当然很多：生命和煎鸡蛋是两个例子）走一个方向，必须借助于环境的复杂性来得到解释，有那么多粒子混起来了。

——“QED：Electrons and Their Interactions”, the Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

那么，在这个课里，我要讲的东西都是物理学的——是此刻我们所知的全部物理学，外加一大些猜想。因此，与以前的课相比，这个课的涉及面甚至更广，因为我以前仅仅对付两种粒子，如今我不得不对付两打粒子！

——“QED：Electrons and Their Interactions”, the Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

对万事万物，我们有如此大尺度的看法，实乃幸运。我们不必一直为这些小小的原子劳心伤神。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

当我们谈论原子的时候，觉得原子的麻烦之一，是原子小得厉害，要想象那个尺度，太难。原子的大小若比为苹果，以相同的比例，苹果可比为地球。这就是很难消受的事。你必须一直在这些事情中穿梭，大家觉得这些数字不可思议，我也觉得不可思议啊！

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

那是大约在20世纪初，有人发现光的行为其实就是像粒子；在波理论取得重大成功之后，粒子论就是一个巨大的冲击。然后，试图看看粒子怎么能制造波一样的现象，用波很容易解释这种现象，这个问题就成了大家知道的“波粒二象性”。光的行为在星期四像粒子，在星期二像波，那个，当然，不是一个令人满意的理论。

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

用量子力学来描述宏观的东西，其大胆，其新颖，我记忆犹新。

——Letter to Dr. Scully, February 1974

随着我们进步，如果只允许我们保持不确定的态度，我们将把机会留给另外的路子。我们不会兴高采烈地求事实、求知识、求目前的绝对真理，而会一直不确定。为了取得进步，我们必须向未知之事敞开门。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 114—115

但是，好科学家与众不同的一个品性，是他们通常不像其他人那么自信。他们守着稳定的怀疑过日子，认为“事情或许是那样”，并照此行事，他们总是知道事情仅仅是“或许”。

——Interview with *Omni*（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 200）

小尺度的东西的行为，太怪异了！它太奇妙而不同！

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

当相对论和量子力学的那些新观念在本世纪早期发展起来的时候，显得太怪异，许多保守之人希望最终证明那都是错的；但是，后半个世纪的实验，力度、范围和精确性更大，却无一例外地肯定之。

——“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark, October 1973

我一直努力解释说，对相对论的改善，起初或多或少是直截了当、半经验地胡闹。然而，每一次我都会有所发现，我会回去，我会用许许多多方法来检查相对论，把它和与以前在电动力学中（后来是在弱耦合介子理论）中已经得到解决的每个问题做对比，看看相对论是否总是符合，如此等等，直到我绝对确信各种规律和常态（我炮制的，用来简化全部研究）的真实性。

——From Nobel Lectures, Physics 1963—1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

别人立刻反对的，我从来不反对，你知道。全部的书都会说，我们不能用超前波，因为那意味着结果跑到原因的前面。但是，像那样的事儿，从来不叫我心烦。我才不管那种该死的事儿。我从来不必以原因和结果的方式想任何事情。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

[谈量子力学]因为它跟我们全部的常识作对，我们就不能假装理解它。我们充其量只能描述在数学和方程式中发生了什么事情，那是很难的。更难的事情，是判断方程式是什么意思。那是最难的事情，但那正

好把核物理学这个行当搞得如此令人兴奋。我为什么从事这个，理由在此。没有人会诚实地说这会导致实用知识。我们不能说我们会得到一种新能源。我们搞核物理，是因为能量。我们搞它，是因为我们擅长，是因为那是想象力的一种大冒险。

——BBC, “Horizon：The Hunting of the Quark”, May 1974

大家习惯于认为原子是很小的，那是测量的极限，但在目前，早有了新仪器和新设计，我们可以制造仪器，来考验这个说法。如今可以这样说距离是怎么个东西：如果原子的一边是100千米，那么我们就量得出一厘米的精度。

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

做这些粒子实验是容易的——分析实验结果的意思，要难得多。两个微型汽车，以高速迎头相撞，弄出了一辆劳斯莱斯，或者两辆劳斯莱斯撞出了一辆摩托车——你怎么思量这个事儿？

——BBC, “Horizon：The Hunting of the Quark”, May 1974

Science and Society
科学与社会



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

除非你理解和赏识我们时代的这种大冒险，否则你就理解不了科学与任何事情的关系。除非你理解这是一场巨大的冒险，一个令人兴奋的狂野之举，否则你就不算生活在你的时代。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 9）

教学生扬弃以往的东西，带着一种平衡感，需要相当的技巧，此事必要。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

全部研究者的结论是：世界上的所有人都蠢到家了，告诉他们任何事儿的唯一办法，是持之以恒地羞辱他们的智力。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 85）

做任何行动决定，其时你不得不拿定主意要干什么，总涉及一个“应该”；单看“如果我干这个，何事会发生？”，你鼓捣不出“应该”。你说：“对极了，你看看会发生什么，然后断定你想要它发生，还是不想。”但是，到了最后这一站，你想要它发生，还是不想，决定此事，却是科学家帮不上忙的一个步骤。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 17）

我认为，说科学是有问题的，是一种夸张。那更是人道的问题。如何产生力量，这个事实是清楚的，但如何控制力量，不清楚——这个事实，不太是科学问题，是科学家所知不多的某种事情。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 7）

对世界，我有大量不舒服的感觉。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 61）

老百姓的态度，是努力找到某个答案，而不是努力找到一个人，这个人有找到那个答案的方法。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It Al* l, p. 66）

你有偏见，认为读心术极端不可能，这不意味着你可能永远不相信某个人确实能猜透别人的心思。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 71）

我乐意指出，人不诚实。科学家一点也不诚实，一样的。说别的没用。没有人诚实。科学家不诚实。大家通常相信他们诚实，这把事儿搞得更糟。我说的诚实，意思不是你只讲真话。我的意思是你得把整个情况摆在光天化日之下。你为别人把所需要的全部信息放在明处，他们聪明，让他们自己拿主意。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 106）

谁是巫医？当然是精神分析家和精神病学家。如果你看他们在无限少的时间里鼓捣出来的全部复杂观点，如果你比较一下任何其他科学一个接着一个费了多长时间搞出那些观点；如果你考虑全部这些构造、发明以及复杂的东西，本我和自我，张力和力量，这些拉拉扯扯，我就告诉你，它们不都能是真东西。一个大脑，或者几个大脑，在如此短的时间里，炮制出这么多东西，那是太过分了。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, pp. 114—115）

报纸文章和普及书籍，“解释”最新观点，采取的方式趋向于简化，

以便大众易于理解；但是，那样理解的东西，是错误的；有时候，错的仅仅是一点点，但那足以让你避之唯恐不及。

——Letter to student Charles E. Tucker, April 1967

在现代社会，要找到科学文化的合适存身之地，不是解决现代社会的那些问题。有大量问题，与科学在社会中的地位关系不大；如果你认为，但愿你真那么认为，即干脆单方面决定科学和社会如何理想地契合起来，这就能以某种方式解决全部问题，那是做梦。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我们时不时地想把这种世界观传达给我们的非科学界朋友，但我们经常遇到困难，要为他们解释最近的问题，如CP [3]守恒的意思，但他们不知道最初级的东西。自从伽利略以来四百年，我们积累了关于世界的信息，他们不知道。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

大多数人，绝大多数人，对研究他们身处其中的这个世界的科学，是悲惨地、可怜地、绝对地无知，他们就能一直那样，我的意思不是偏要惹他们，我们的意思是他们居然能一直自甘无知，并不烦心——只是悠然自得地——他们时不时地看到报纸提到CP，他们就问那是什么玩意儿。关于科学与现代社会的关系，一个有趣的问题——他们为什么可能悲惨地自甘无知，还能颇有道理地在现代社会里优哉游哉，错过那么多的知识？

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

因为我想让伽利略看看我们的世界，我就必须让他看个事儿，怀着满腹羞耻。如果我们把眼光从科学那里扭开，看看我们周围的这个世界，我们就发现某种相当可悲可怜的事儿。我们身处其中的环境，是活跃而极度地不讲科学。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我相信科学仍然处于靠边站的位置，因为我们干等着有人问我们问题，或干等着被请去给人讲爱因斯坦的理论，而那些人连牛顿的力学都不懂，但没有人请我们去攻击信念疗法或者占星术，以及今天科学对占星术的看法。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我相信我们应该要求大家，用自己的脑筋，努力为自己获得一幅更逻辑一贯的图景。人们不准自己有这么一种奢侈，即把自己的大脑切成四块或者两块，一方面他们相信这个，另一方面他们相信那个，但人们从来不准备把两个观点比较一番。因为我们已经知道，通过把我们有的许多观点在我们的脑袋里放在一块儿，一个一个地比较，我们在理解上就取得一些进步，也能充分认识到我们在哪里，我们是什么。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我认为我们身在一个不讲科学的时代。通信和电视解说词、书本等，几乎其全部的咋咋呼呼，都是不科学的。那不意味着那些东西是坏的，那仅仅是不科学的。因此，打着科学的旗号，存在大量智力暴君。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “What Is Science?”，April 1966

大家认为专家知道他们在干什么。但大多数专家，无论是股票、教育、社会学专家，还是心理学一些分支的专家，其所知并不比常人更多。他们搞研究，遵循固定的方法，搞出了一些结果。

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

宣传，乃一邪恶之事——一旦它开始运作——干这行的人，就不知道什么时候停下来，把事儿搞得越来越大。

——Letter to Jeanne Henry, July 1974

尽管你说："我希望我尽可能扩大知名度，我受得了。"我个人受不了，我的希望是恰恰相反。你和我都需要打点折扣。

——Letter to Jeanne Henry, July 1974

我仔细读了你的文章，我必须说，关于我们做了什么才获得了诺贝尔奖，《巴基斯坦观察家》（*Pakistan Observer*）发表了最好、最清楚的文章之一。对真实情况的实情或解释，全部大报，全部大新闻系统，确实无意于说出什么东西。还得麻烦一份地方报纸，一个确实明白事儿的人，写一篇通晓事理的严肃文章，不只是满篇阿谀奉承和鸡毛蒜皮。

——Letter to Dr. A.M.Harun ar Rashid, November 1965

用我来创立你自己的公司，那不公平。

——Letter to Jeanne Henry, July 1974

停止科学的路子之一，是仅仅在你知道那个规律的范围内做实验。

——*The Character of Physical Law*, p. 158

我有一个观点，科学传统不是对或者错——传统脆弱。科学思想传

统，我认为它很脆弱，也很容易丢失，我认为科学确实有价值。科学涉及的观点、客观性、做事的方法，是有价值的，明白吧？因此，我认为科学有价值，认为科学可能被摧毁。科学可能被摧毁，因为只剩下那些没有科学传统的人，会有一些权力。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

大家有这么一种感觉：科学家比别人知道得多。那不是真的。那就像《绿野仙踪》似的。你在身后看他，你看到他是一个普通的伙计，跟你一样。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

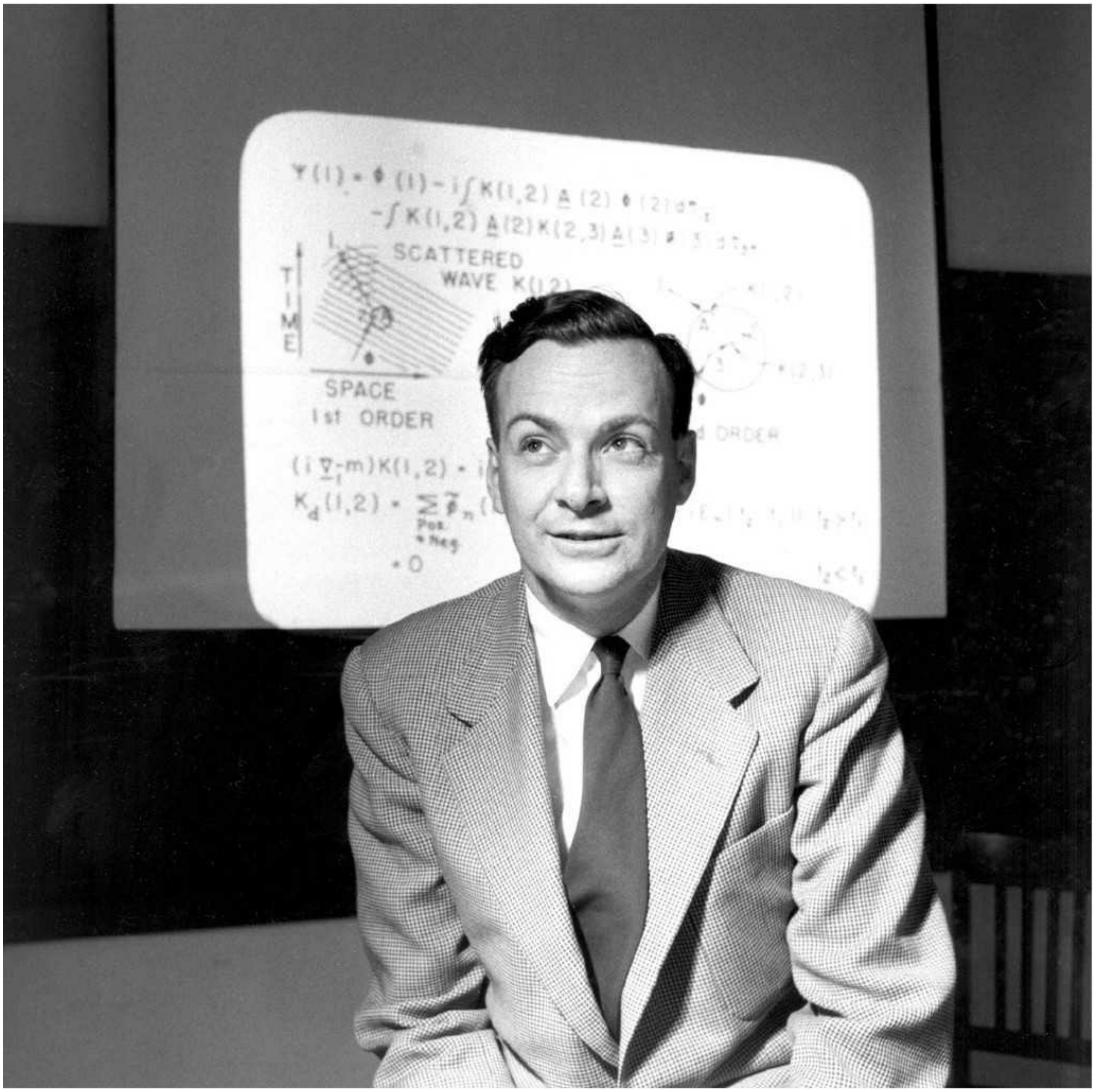
如果成功来自采取一种科学态度，那么一个国家或许就得到了鼓励，向前走，在关于科学自身的那些问题中，就形成一种良性循环。

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

科学有什么价值吗？我认为一种做事的力量是有价值的。那结果是好事还是坏事，依赖于如何使用科学，但那种力量是一种价值。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 6）

Mathematics
数学



理查德·哈特（Richard Hartt）摄影

加州理工学院提供照片

我希望那边的女士们和先生们知道一些这号数学。数学不仅仅是你们都错过了的逻辑和精确性——数学也是诗啊。

——BBC interview, “A Novel Force in Nature”

看看这里的这个小巧玲珑的方程式。它告诉我一个电子能够在一个原子里恬然自得或者绕着转的全部方式。那是电子的逻辑。关于电子的诗，是这个方程式告诉我金子怎么就熠熠生辉，石头怎么就硬，什么使草绿，以及为什么你看不到风。还有一百万件其他的事情，都是关于自然的运作方式。

——BBC interview on the gauge theories, “A Novel Force in Nature”

那不是一个意外的大数，不像是地球的体积比跳蚤的体积那个比值那样的大数。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 7, October 17, 1961

矢量，如有确定方向的推力，或者有确定方向的速度，或者有确定方向的运动——表示在纸上，是一个箭头，指着那个东西的方向。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 23

你知道，所谓“深奥的”数学非常难，此说不真实。拿计算机编程说事儿吧，那需要仔细的逻辑——那种思维，爸爸妈妈会说只有教授才有。嗨，编程如今是一些日常活动的一部分，是一种谋生的路子；孩子们感兴趣，搞了一个计算机，在鼓捣最发疯、最好玩的玩意儿！

——*Omni* interview, February 1979

但你看，打从开始我就不扎堆。我一直想发现一个公式，把一些整数加起来，因为是我想要那个公式。我不在乎；那个公式对我也不重要；希腊人搞出了那个公式，甚至公元前2000年的巴比伦人就搞出了，这一点也不是我的兴趣所在。但是我从我的问题中得到乐趣。事情总是那样的。我总是玩我自己的那种我行我素的游戏。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives

with the Center for the History of Physics）

对那些不懂数学的人而言，要越过门槛感受到自然的美，那最深刻的美，是挺难的。斯诺（C.P.Snow）谈过两种文化。我确实认为那两种文化把人分开了；有人对数学理解得很好，能赏识自然之美，有人不是如此。

——*The Character of Physical Law*, p. 58

代数、微分和积分里的错误，仅仅是胡扯；在你试图分析某事的时候，那些错误仅仅烦恼物理学，烦恼你的脑筋。你计算，应该能尽可能地快，错误最少。那除了机械地练习，不需要其他的——那是唯一的办法。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 19

想法是这样的：我们想看看动量在内部的部分子上的分布。想象一群蜜蜂朝你飞来。假设你从蜂群那里散发雷达。不同的蜜蜂有不同的速度，当你从它们身上散发雷达的时候，你就看到一群移动的蜜蜂发出的清一色电波的多种频率的分布，你可以得到蜂群内部的那些蜜蜂的分布动量。

——Caltech lecture on particles, 1973

数学是一种语言，外加推理；它像一种语言，外加逻辑。数学是一种工具，用来推理。

——*The Character of Physical Law*, p. 40

欧几里得说：“通往几何学，皇家也没有专用道。”没有什么皇家的专用道。物理学家也不能把数学转换成其他语言。如果你想了解自然，欣赏自然，那就有必要理解自然说的语言。自然仅仅以一种形式提供其

信息；我们不会狂妄到要求大自然做出改变来迎合我们的意愿。

——*The Character of Physical Law*, p. 58

因此，我对与物理学相关的数学行当越来越感兴趣。此外，数学本身对我也有吸引力。我一生爱数学。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 228

要成功地运用数学，你必须具备某种心智态度——要知道，看任何问题，看任何话题，存在许多方式。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 447；Engineering and Science, p.10, March 1965；“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

对某个难题，你需要一个答案：问题是怎么得到答案。能够成功运用数学的人，其实是一个发明家，能在特定情况中获得答案的新方式。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 447

什么是得到解决问题的最佳方法？答案是，任何管用的方法。

——*Engineering and Science*, p. 10, March 1965

在我看来，数学不是一种科学，这意思是数学不是一门自然科学。数学是一种非自然的科学，或许吧。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961

取极限的最终结果，仍然用另外一种方式写成ds/dt。现在，事情搞得更抽象了。这些ds 又没分开。如果我让你把它们称作时间和距离的一个极小极小的小不点，数学家们会对我生气。但那很管用，你可以用它。如果你设想这俩东西比任何东西都小，那么你就想对了。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 8, October 20, 1961

你可以自己鼓捣出积分表，手段是搞微分，你对每一个式子求微分，直到你脸色苍白；然后，把你的结果左右倒过来看，你就得到积分表。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 8, October 20, 1961

在数学中，样样事情可以得到定义，然后你就不知道你在谈什么——其实，数学的光荣，正是你不知道你在谈什么。光荣在于定律、论点和逻辑是独立不依的，无论你谈的是什么。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 12, November 7, 1961

我从来不能把符号写对——你可能也是那样，到末了，你能咂摸出来。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 13, November 10, 1961

在我计算的时候，我总是左检查、右检查，因为我出错太多了。检查的方法之一，是弄数学要十分仔细；另一个检查方法是，一直盯着得数是否合乎情理，是否描述真发生的事儿。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 63

我干这号事儿，貌似不费吹灰之力，那是假的：我发誓，我干了不止一次，然后才搞对了！

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 62

记住，无论什么时候你埋头于数学分析，你都总可以用算数来办它！

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 82

我知道，几何学的大难题之一，是把一个角三等分。因此，学这些鸡零狗碎，去它的个鬼，我们要前进，要搞重大问题，你明白！那才是学习的路子——我告诉你。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

那不是什么了不起的事情，那仅仅是我在数学上十分麻利。数学操作，像是一个伙计能在脑袋里很快地搞算数。就是那种事儿。能那么干，很有用处。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我不能赌博。我理解输赢的数学。我坚信那些游戏想必是公平的，都是诚实的。如果那些游戏是诚实的，那就不算游戏了，因为那仅仅是一个骰子怎么滚的问题，那对我来说就无趣了。那就仅仅是偶然的。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我不知道为什么数论在物理学中派不上用处。我们却似乎需要连续变量、复数和抽象代数的函数那种数学。

——Letter to Mr. Robert Boeninger, May 1969

正如我告诉你的，我理解数学理解得不很好，我必得有物理学的例子，但那仅仅是我的脑筋的工作方式。

——Letter to Bert and Mulaika Corben, 1948

设想我懂几何，想做一根和50平方尺正方形对角线一样长的木棍，我想算算它究竟该多长。我也不是专家啊，算出来个无穷大；如果不是呢，那是零？两个结果都是没意义的扯淡嘛；我们又不是搞哲学，我们是干真事儿的。因此，实在没办法了，我直接量量得了——瞧，它接近七英尺——既不是无穷大，也不是零。因此，我们量这类东西，因为我们的理论给我们的数接近于我们的测量。我们在踅摸能提供50的平方根的那个算式。

——Letter to Barbara Kyle, October 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 152）

今天的数学家们觉得有趣的东西，我不感兴趣。

——Letter to Dr. John A.Wheeler, May 1966

在实际事儿中，集合论有时候用到，但不常用。它最大的用处和美，显然是在数学的逻辑基础的研究中。

——Letter to Alexander Calandra, September 1965

一个纯粹的数学家是很不实际的——他对数学符号、字母和观念的意义不感兴趣（他其实是故意漠然置之），只对公理的相互联系感兴趣，而使用数学的人必须理解数学对真实世界的联系。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

数学用得最好的那些人，其实是新路子的发明家，他们能在特定情况下获得答案。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

对付一个问题，方法有许多；但是，非常不幸，也有对付问题的确定的、大家知道的固定方法。我们过去一直只教导对付算数问题的仅仅

一个固定方法，却不教导脑筋的灵活性；就是说，把一个问题写下来的五花八门的方法，思考那个问题的一些可能的方法，以及领会那个问题的可能方法。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

为了运用数学，你必须对数学对象与真东西的关系有一个较深的理解，这种较深的理解与下面这种趋向是相反的：让全部不同种类的数学应用代表相同的东西。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

从专业上严格地说，但愿大家知道，关于数学基础的理论，其状态不完全令人满意，涉及一些非常重大的混乱。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

我或许可以提一下，在十进制之外，为什么要注意一下不同的进位制。目的只是再次加强数学体验。跟孩子们讲清楚：十进制是人类历史的偶然之事，10这个数字没有任何特别之处。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965

假如我谈过数学，我该是已经回答了你。数学寻找模式。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

因此他知道全部的算数，他很擅长算数，我很难对付他。我就一直练习。我们常常来一个小比赛。每次我们计算某种东西，比赛谁先得到答案，他先我后，我就输了。几年后，我开始偶尔一赢，大体是四次赢一次。你必须注意数，你知道——我们各自都以不同的方式注意数。我们为此得到不少乐趣。

——On his experience with the Manhattan Project, “Los Alamos from Below”，1976

当然，你会注意一个数的有趣之处。举例说，你算174乘以140。你注意到，1.73乘以1.41近似于3的平方根乘以2的平方根，即6的平方根，数是2.45。但你必须记得一些数，你知道，每个人记忆的方式不同——我们玩得不亦乐乎。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

有这样的一些高僧，能预测金星；普通人会设想说：“老天爷，他们怎么能办这个事儿？这是奇迹啊，吓死我了，我学不会算数，这不可能。”如此等等。如果古时候有人在乎教学法，就是说，僧人卖力向老百姓解释他们在干什么，他们可以解释说，他们仅仅在计算，或者相当于计算的事儿。

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 2）”，October 1984

我会让你看明白，如何搞这些计算，好像探囊取物！

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 2）”，October 1984

能够从这个观点得来的全部东西，我认为我们都懂了；我们在这个世纪发现的东西，非常不同，非常晦涩，未来的进步将需要大量数学。

——*Omni* interview, February 1979

我不相信如下看法：只有几个人精懂数学，其他芸芸众生平庸无奇。数学是人类的一种发现，它不比人类能够理解的东西更复杂。

——*Omni interview*, February 1979

数学仅仅是一种语言。

——In personal notes

数学可以允许迥然不同的出发点。

——In personal notes

几何学的规则，是数学家研究的东西，而数学家试图发现你可能发现的全部对象都遵守那些规则！规则本为数苹果而造出来；通过使用负数，事情得到了改善；通过发明分数，事情又进一步改善了。

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

[谈复数]数学家搞的这种发疯数字的全部数学，在物理学中却没有任何东西与之相关；有趣的是，对使用这种可笑数的基本物理学规律而言，这种数学却至关重要。

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

今天，我们变得非常老练了。早期，数学才刚得到发展，据说数是与你数苹果、数人、数诸如此类的东西相似的东西；那么，半个人，这个观念有些成问题了，但如今一点难处也没有：我们听说某地区每平方英里有3.2人，没有人对此有任何道德上不舒服的感觉，没有血淋淋的感觉。

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

用π、2、5等等鼓捣，你能搞出多少数字，你会吃惊；如果你没有什么东西做向导（答案除外），你甚至也能够搞出几个小数位，方法是磨蹭得合适。通过鼓捣像π这样的可爱的数，你能把任意数搞得近似，近似得令人吃惊。

——“QED：New Queries”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

现在，你说，那是办事的正确方法吗？没有的事儿！干任何事情，都没有什么“正确”方法。做事的某一种特别方法或许是正确的，但那不是唯一正确的方法。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 58

回顾这项研究，我只觉得遗憾，花费了巨量的物理推理和数学重复表达，到头来那仅仅重复表达以前已知的东西，虽然其方式对计算具体问题要有效得多。如果完全在一种更有效表达的数学框架内工作，事情难道不会更加简单得多吗？似乎肯定会是这样，但是我必须说，本来对付的那个问题（多半仍然不曾解决）是要避开那个理论的无穷大问题。因此，要搞出一个新理论，而非仅仅是对旧理论的修正。虽然这种求索是不成功的，但我们应该看到这个问题在发展一种新理论中的物理学观念的价值。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

我在高中时，我们有一个几何小组，我在几何小组。那是一个叫人着迷的东西。我们和另一个学校比赛。他们从一个信封里拿出一些问题，那是某人在某个地方编的，他们会宣布，“这个问题是45秒钟”，或者也可能是“两分半钟”，他们把题目写在黑板上。你有15秒钟思考，然后你像个魔鬼似地运算，你在答案上画个圆圈。你怎么得到答案，那无关紧要。这是我喜欢的事儿。我常常练习做这种事情，我做得就越来越快。快快地做几何，这个本事后来变成了快快地计算的本事，总把我置于有利境地。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

在我看来，如果你说$2^x=32$，我知道这是什么意思。x总代表某个数，因此如果这个数碰巧作为一个指数在那里，那就有所不同吗？我的意思是，我们知道指数的事儿。那就把这个问题搞得有所不同吗？

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我在麻省理工学院的时候，我读我不懂的那些领域的书，如广义相对论之类——甚至在百科全书里，我也能从文章中披沙拣金——在静电学中，我似乎有一种披沙拣金的感觉，但等到要计算一个椭球聚光器的电容量，这很复杂，我理解不了，我也不心烦。我知道那个不如平方反比定律有趣。什么是重要的，什么是不重要的，我有办法知道。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

在我上学学到表示分数的小数之前，我爸爸就教我π，还解释小数。知道吧，我在算数方面确实出类拔萃。我记得他告诉我，说π是一个伟大而奇妙的神秘数字。万事万物总像是大戏——全部的圆，周长与直径的比值总是一样的；这个怪数，意义非常重大，是一个神奇数字。因此，π好像是用金子写的一样，你知道。

——Interview with Charles Weiner, March 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

纯粹数学仅仅是从真实世界来的一种抽象，纯粹数学确有一种特别的语言，用来对付它自己的那些特别的、专业的问题。但是，这种精确的语言，如果你用来对付世界的真东西，就无论如何不精确，它就仅仅是迂腐，用起来也相当令人困惑；有些特别微妙的事情，必须仔细甄别出来，那另当别论。

——“New Textbooks for the‘New’Mathematics”，*Engineering and Science*8，no.

6（March 1965）：9—15 at 14

Technology
技术



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

有一种计算机病，用计算机工作的人都知道这病。那是一种严重的病，它完全妨碍工作。计算机的麻烦，是你用计算机“玩儿”。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 81；*Surely You’re Joking, Mr.Feynman*！, p.127； Classic Feynman, p. 146

正确的答案，必得以实验定夺，纯思辨是没有用处的——但我无能于做实验，我在飞机上也无法不想入非非。因此，我喜欢根据我的纯思辨告诉别人事儿，仅为乐趣，那意思不是我认为那些事情必然是那样，而只为乐趣，寻思事情可能有多么令人兴奋。

——Letter to Edwin H. Land（Polaroid Corporation），May 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 221）

然而，计算机不如人。计算机需要人告诉它干什么事儿，要告诉得无微不至。有朝一日我们或许会有能对付大体的任务描述的那种机器，但与此同时，该如何告诉计算机做事，我们就不得不非常地小心翼翼了。

——*Feynman Lectures on Computation*, p. 3

[谈量子计算机]真得担心的，不是绝对能量，而是丧失的能量——就是说，产生混乱和无序的自由能。这种忧虑，好像某人关于我的原子计算机说的话。你估计了能量，他说，但你忘了制造这种计算机要花费多少能量。好吧，让我们假定那是全部原子的mc^2。但是，在我计算了100年之后，我会把那些能量弄回来。

——“Tiny Computers Obeying Quantum Mechanical Laws”，*New Directions in Physics*：*The Los Alamos 40th Anniversary Volume*，1987

我想谈这么一种可能性：会有一种一丝不苟的模拟，计算机会做跟自然一模一样的事。如果此事得到了证明，这类计算机已经得到解释，那么发生在一个有限时空中的万事万物，以有限数目的逻辑运算，将必然能被分析得一丝不苟。

——“Simulating Physics with Computers”，*International Journal of Theoretical Physics*, May 1981

计算机和计算机思维的发现，在人类推理的许多分支中，结果极具用处。比方说，在我们费力让一台能理解语言的计算机工作之前，我们实在不知道我们对语言、对语法，以及全部那种东西的理解有多么差劲。

——MIT conference, May 1981

[谈“挑战者号”航天飞机爆炸]这个危险在以前不曾导致灾难，这个事实不保证它下一次也没有灾难，除非完全理解这个危险。

——“Feynman Takes NASA to Task”，*Pasadena Star News*, June 11, 1986

一台计算机，是一个高级的、超速的、现代化的文档管理员。

——*No Ordinary Genius*, p. 183

把机器造得小一些，总是更好；问题是，按照自然规律，到底能把机器造得有多么小。我不想讨论在将来这些小机器究竟是怎么个东西，那要看我们有什么经济问题和社会问题，我们不想猜测那都是什么问题。

——“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

望远镜的原理，是把来自较大面积的光集中在较小面积上，因此我们能看到较弱、光线较少的东西。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

优良的机械对建造优良的设备至关重要，物理学需要精确而仔细的测量以发现自然规律。

——Letter to Raymond Rogers, January 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 208）

已经有大量的研究工作在试图开发更聪明的机器；更聪明的机器与人类的关系更好，因此花费较少的努力，即可输入和输出，目前却必须有复杂的编程。此事名曰人工智能，但我不喜欢这个名字。不智能的机器或许能比智能机器干得更好。

——“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

关于时间的某种可能性，我提到一件事——事物不仅受过去的影响，也受将来的影响；因此，何者可能，何者不可能，是某种意义上的“幻觉”。我们只有来自过去的信息，我们试图预言下一步，但其实那依赖于最近的未来，我们触及不到最近的未来，触及不到诸如此类的东西。

——MIT conference, May 1981

还是为乐趣，为智力的愉快，我们可以设想机器小得只有几微米，里面又有齿轮，又有电线，全部东西都用电线互相联着，用硅联接，因此这东西是一个整体，一个非常大的设备，不像我们目前那种僵硬的机器的那种笨拙的动法，而是行云流水像天鹅的脖子，那毕竟是一大些小小的机器，细胞似地互相联接，全都以平滑的方式得到控制。我们自己为什么不能那么干呢？

——“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

[谈调查“挑战者号”航天飞机爆炸]我在这次会上了解的主要事情，是公众质询效率低下：大多数时间，别人在问问题，问的是你知道答案的问题——或者是你不感兴趣的问题——你给搞得满头雾水，你很难仔细听了，重要之处就滑过去了。

——“Feynman：Frustrated by the Slow Pace of Probe”，*Pasadena Star News*, January 29, 1989

我不想造机器，我想做实验，或者思考关于实验的事儿。我不想仅仅造机器。在那些日子，大家常常做的事情，是造机器，不做那么多实验。他们就接着造另一台机器。另外的人照着造机器，凭着经验，然后就用机器。那就是那时候的事儿。如今，他们终于成了领军人物，因为他们总有最给力的机器，但实验是最稀松的。别的人会总是造相同能量的机器来做很好的实验。但是，更晚些时，他们造了大机器——虽然别人或许也造——他们把活儿做得非常、非常好。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

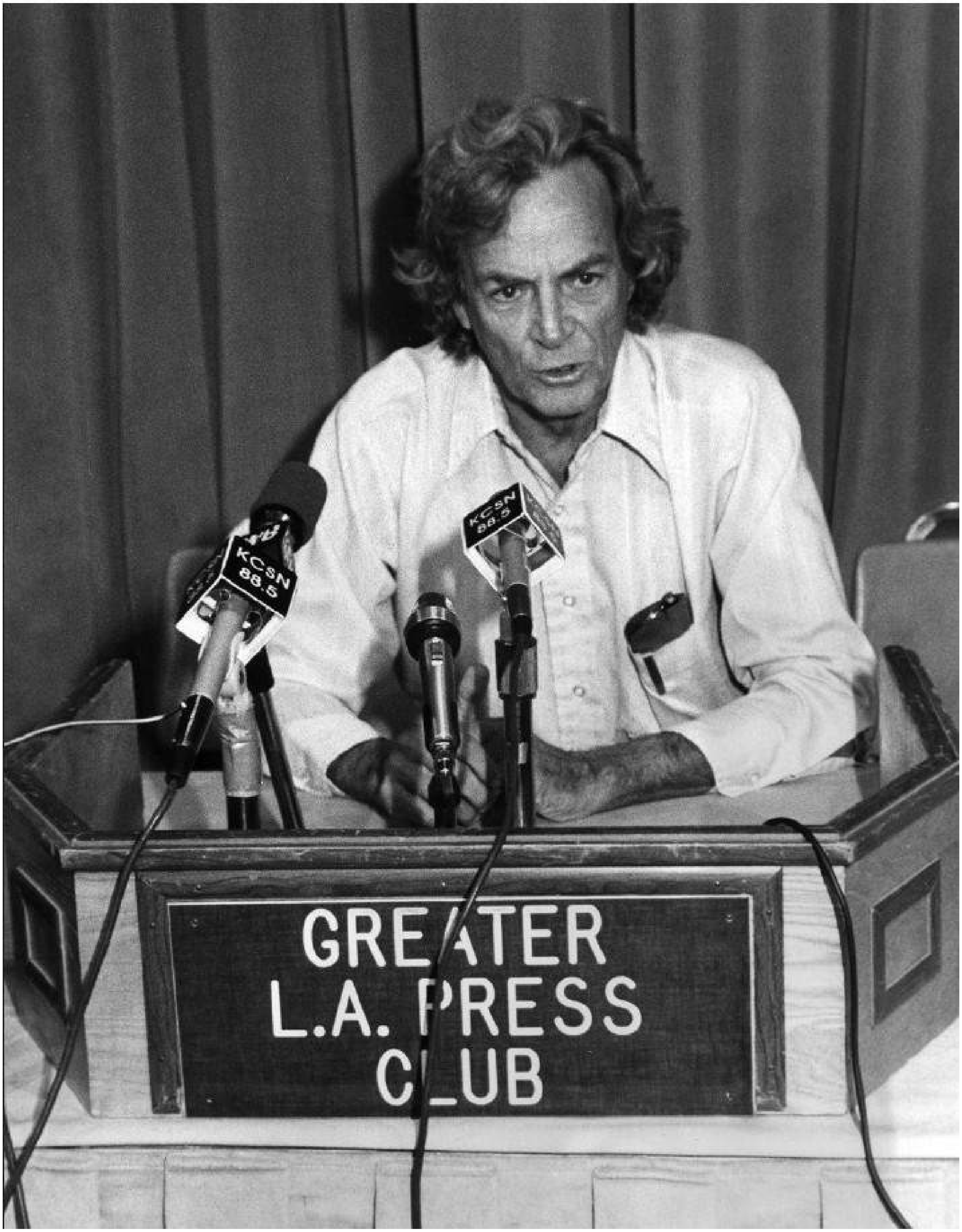
理解鸟怎么扇翅膀，羽毛是怎么设计的，以便造飞机，是不必要的。理解猎豹腿里的杠杆系统，就是说，那种跑得快的动物，以便造汽车，带轮子，也跑得非常快，是不必要的。因此，无微不至地模仿自然的行为，以便鼓捣一个装置，在若干方面还比自然的能耐大，是不必要的。

——“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

你可曾扪心自问：你是用什么构成的？如果你答，骨肉啊，我就问你骨肉是用什么构成的？——你会说分子、蛋白，甚至DNA。那些分子是用什么构成的？——原子：我们整个是一堆原子。

——BBC, “Horizon：The Hunting of the Quark”, May 1974

War
战争



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

世道给搞成这个样子，人人有责，但要想出一个办法避免给搞成这个样子，我们的理智不够。

——“900 at Caltech, JPL Declare Support for Nuclear Arms Freeze”，*The Los Angeles Times*, October 16, 1982

大家说，事后“你有负罪感吗？”不，因为当其时也，我思考过世界的严峻局势，思考过造原子弹的可能性，思考过如果对方造了出来、我们没造出来会导致的危险；在我看来，事情似乎绝对清楚：我们必须动真格的，去拯救世界，免于另外一种可能的情况。这话是真的，后来证明对方的事儿办得不很好，但人在当时，早知如此，门儿也没有，因为对方可能把事儿办成。我们证明那是可能的。因此，对方会造原子弹，此事并非不可能；如果他们造得出来，事不谐矣。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

话说回来，大规模释放能量，此事可能。如今常有人说科学造了原子弹，那不对。造原子弹的，是工程啊。造原子弹的理由，是战时的军事理由。科学家们为此忙活，这不假，但他们在那个时候不是为科学忙活，他们是战时的工程师。他们被人从实验室里拖出去了，好去干那个。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 421

战争灾难的进一步的结果，或许是大家对物理学产生普遍的敌意；这是破坏引起的结果，大家或许指责科学家，因为科学家使破坏变得可能。

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

我参与的那些事情，我不要荣誉，我倒希望有机会讲述在那些事情

中也被创造出来的一些希望和价值；如果战争问题可能得到解决，就会有那些希望和价值。

——Notes on the atom bomb

元素的裂变与能量的释放，在这种战争中的明智教益，再一次强调：科学发现本身，永远不能说是好或者坏。我们用那些发现来干什么，问题是这个。科学赋予我们力量。我们能够利用科学来促进善，或者怂恿恶。核能的释放，是最巨大力量的释放。那有潜在的巨大价值，或者说我们也看到了，那种价值能够大于破坏。

——Notes from Los Alamos

因为知识可用于战争，而战争很坏，但通过压制知识来阻止战争，却没有什么道理。即便我们把科学限制在此处，不要泄露出去，我们也挡不住别人去促进科学。我们闲坐终日，别人就动手干。

——Notes from Los Alamos

大多数苦涩的争论，围绕着信息控制、武器开发和对新知识的探索。

——Notes from Los Alamos

问题是科学提供力量，既可为行善，也可为作恶。我们担心科学可能拿来作恶。军方垄断科学，不能鞭策任何理智之人做出选择，以促成善良目的——却会迫使科学仅仅朝着最具破坏性的方向发展。

——Notes from Los Alamos

科学家发现了锁闭在原子里的能量，就梦想有朝一日释放之。伟大的原子时代应运而生。最大的问题无疑关乎战争与和平。

——Notes

我是支持核试验还是反对核试验，我自己也弄不明白。公说公有理，婆说婆有理。产生的放射性污染很危险，打起仗来也很坏。但是，因为搞试验，会不会更可能搞战争，我不知道。有所准备会阻止战争，还是缺乏准备会阻止战争，我不知道。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 107）

来自不同研究领域的仪器设备，放在一块儿，凑成了一个新装备好做实验，为的是把铀同位素分离出来。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

原子弹具有巨大的危险——战争——任何国家都能、也都会开发原子力量。

——Notes from before Los Alamos

有些人继承了特别的品质，不要认为那是因为他们的父母特殊；要努力把那些“有价值的”的因素教给所有的人，因为所有的人都能学习，无论他们是什么种族。此乃上次战争的教训。

——Letter to Tina Levitan, February 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 235）

虽然目前在我的领域我稍有名气，但当时我是无名小卒。在我开始为“曼哈顿工程”工作的时候，我连个学位也没有。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

在战争期间，全部科学都停了，除了在洛斯阿拉莫斯搞的那一小块

儿。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

在伯克利，关于原子弹、核物理和全部这些事儿，他们想的全部东西，我都不太知道。我一直做其他种类的事情，因此我必须做一大堆工作。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我以前不曾坐飞机旅行；现在要坐飞机旅行。他们把秘密捆起来，放在一个小东西里，用皮带捆在我背上。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

对军队里的这些伙计，我肃然起敬，因为无论给我多长时间，我也做不出重大决定。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我们总是紧赶慢赶。我必须解释我们做的每一件事，我们努力做得尽可能地快。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我们在干什么，我告诉那些高中生，他们全都兴奋起来。我们在打一场战争。我们明白那意味着什么。他们知道那些数字是什么意思。如果出来的压力大一些，那意味着有更多的能量释放出来，如此等等。他们知道自己在干什么。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

比方说，我坐在纽约的一家饭店里，看着那些建筑物，看那有多

远，我就想，你知道，广岛原子弹的破坏半径有多大，等等。第34大街离这儿多远？所有那些建筑物，全部夷为平地，等等。我感觉很怪。我一边走，一边看有人在造一个大桥，或者在铺新路，我想，他们都疯了，他们就是不明白，他们不明白啊。我们为什么要造新东西？都在白费劲。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

我的看法是这样：关于如何开保险柜，这个手艺不是那种人人应该知道的事儿，因为保险柜把样样事情搞得非常不保险，让每个人知道如何开保险柜，那很危险。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

在第二次世界大战期间，我为洛斯阿拉莫斯那个工程工作。在第一次试爆成功之后，群情激昂。大家都开庆祝会；我们到处乱跑。我坐在吉普车的后座上打鼓。有个人——鲍勃·威尔逊（Bob Wilson），枯坐在那儿。我问他怎么了，他说：“那是个可怕的东西啊，我们造的。”

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

[谈原子弹]或许，借助于某种奇迹，那些负责控制原子弹的人会开始意识到——或许已经意识到——原子弹是没有用的。果真如此，原子弹倒是可能有用：阻止我们继续进行具有悠久历史的互相毁灭的蠢行。

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

[谈洛斯阿拉莫斯工程]假如科学家不曾先行一步，却说：“那在事后会成为人类的一个非常严重的问题，我们认为我们不应该做这件事。”如果希特勒和他的人鼓捣出了原子弹，用它来称霸世界，那你尖叫也来不及了。

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

搞得人人都来让你拿主意，那是很烦的，大家以为你眉头一皱便计上心头，我知道我眉头一皱，计上不了心头。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986，p. 37

在战争开始的时候，我做出决定，要为“曼哈顿工程”工作，因为我想德国人会那么做。我不知道这决定对不对。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

从科学观点看，“曼哈顿工程”不是我通常想干的事；那是工程，不算科学。跟全部那些大人物和聪明的主儿混在一块儿，叫人很兴奋，以前你只是读他们的文章。对这个委员会，我的反应相似。除了义务感，我不想参加委员会，但是一旦我断定我摊上事儿了，我就不得不干了，然后我就不得不卖力干。但凡有可能，我就撂挑子。一旦你入伙了，那叫人兴奋。那就像是问某个几乎遭遇车祸的人，那是不是令人兴奋。在汽车堆里打方向盘，跟吃错药似地开心，不是吗？只是你宁肯自己不要遇到这种事儿。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986，p.37

原子弹在本质上仅仅是比最大的巨型炸弹能量大过1000倍的非常大的炸弹。

——Notes

一个国家很快就能判处另一个国家半数人口的死刑，而且当天就处决。

——Notes

合作是求之不得的，此事向来清楚。

——Notes

原子弹的可怕或许最终能使人相信分裂有多么愚蠢，一线希望吧。

——Notes

原子弹的事儿和悲观主义，一直跟随了我好几年，到1950年，我对世界仍然悲观，也相当确信我蛮有理由悲观，没有人有出息，我们都在转圈子，我们会有麻烦的。然后，我们跟苏联等有了麻烦，互相比赛谁的炸弹多，北半球没好日子过了。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

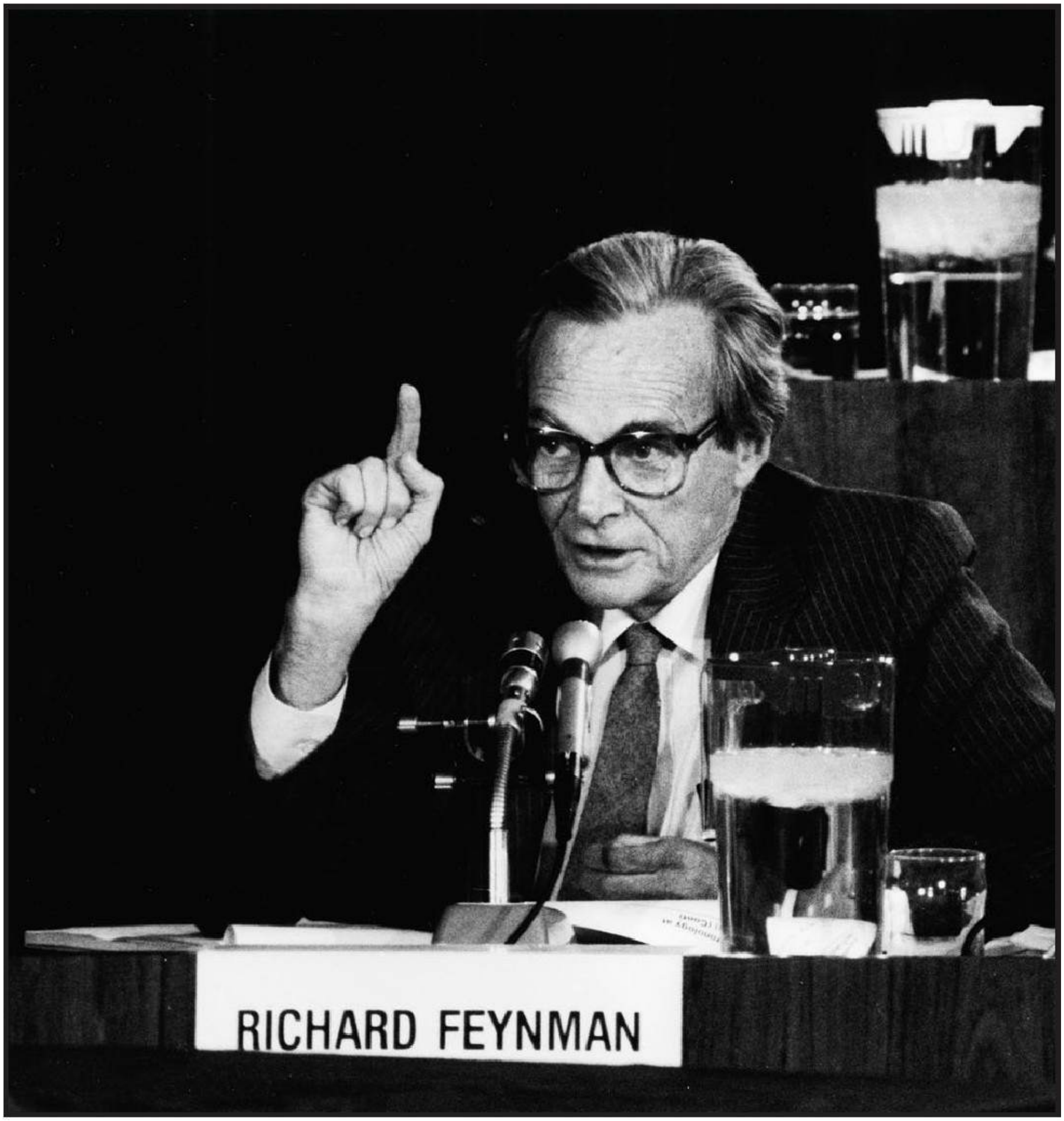
我们科学家是聪明的——太聪明了——你不满意吗？四平方英里一颗炸弹还不够吗？人们还在寻思呢。你到底要把原子弹搞得多大，告诉我们吧。

——Notes

我真学会了一件事，如果你对做某事的理由是很强烈的，你也开始干了，你必须时不时地向四周看看，看看原本的动机是不是仍然是对的。

——“Future for Science” interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

Challenger
挑战者号



加州理工学院提供照片

除非国会来了传票，我不会为任何事情再到华盛顿。

——Letter to David Acheson, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 405）

在使用一个数学模型的时候，必须仔细地注意这个模型中的那些不

确定的情况。

——*Star—News*, Opinion, June 18, 1986

[谈罗杰斯委员会]我觉得我像一头公牛撞进了瓷器店。最好是把这头牛牵出去耕地。一个更好的比喻，是一头公牛撞进了瓷器店，因为瓷器当然就是那头公牛。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 402）

国家航空航天局从公民那里得到支持，他们理应坦率、诚实、不遮掩，如此一来公民才可能做出最明智的决定，来使用他们有限的资源。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

[谈罗杰斯委员会]我有义务感，我为此有些不安。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

[谈罗杰斯委员会]在较早的讨论中，有各种诚恳的说法，说的是我们身为个人，或者更好的说法，身为小组（所谓下属委员会）成员，可以随意到任何地方去取得信息。我试图去做那种事（几位物理学家告诉我，他们乐意跟我一块儿干），我已经安排好了我的事情，以便能够专心致志地全日工作一段时间。我似乎得不到工作指派，在我讲话的时候，会议其实是散了，副主席（阿姆斯特朗）说我们不做详细的工作。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 399）

[谈罗杰斯有心与报界拉近乎]他的反应把我逗乐了，但在我现在写这个东西的时候，我另有想法。在早先的会议上，在他明明白白地谈不

泄密的重要性等等之后，事情就太容易了。我现在打起精神了吗？（瞧，亲爱的，“华盛顿偏执狂”的毛病进来了。）如果，要是他想阻止我，或者要大家不信任我，他倒是可以起诉我泄露了某种重要的东西。我认为，如果我走得太近，这里面可能有些事儿，有人或许试图不让我发现真相，试图诋毁我。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 401）

[谈罗杰斯]我多半是他的眼中钉。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 401）

[谈罗杰斯委员会]照这样下去，要发现发生了什么事，我们将永远不能接近实质问题。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 401）

[谈罗杰斯委员会]我决心干这个活儿，要查个水落石出——你们爱咋咋的。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 401）

[谈罗杰斯委员会]我的猜测，是我将被允许做这件事，埋头于数据和细节，还希望在如此烦扰中对我占有的技术细节予以最大的注意，如此他们就有时间去安抚那些特别危险的目击者，等等。但是，那不管用，因为：（1）我处理技术信息交换的速度，我的理解力，比他们想象得快得多，（2）我已经闻到某些老鼠味，我忘不了他们，因为我就是喜欢闻老鼠的味儿。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 402）

话说回来，官方管理层要求我们相信，失事的概率少于千分之一。此说的一个理由，或许是企图让政府相信航空航天局尽善尽美、功无不成，以便稳住资金供应。其他理由或许是他们真诚地相信失事概率是千分之一，这表明他们与一线工程师缺乏交流到难以置信的地步。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

事情显得是这样：关于机毁人亡的失事概率，众说纷纭。估计的范围，从百分之一到十万分之一。较高的概率来自一线工程师，很低的概率来自管理层。如此缺乏一致性，原因是什么，结果是什么？因为十万分之一意味着你可以每天发射一架航天飞机，这么干300年，才可望仅仅损失一架。我们就可以得体地问一下："管理层对机械的这种异想天开的信心，其原因是什么？"

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

固体火箭助推器的O形密封圈，在设计上没有考虑侵蚀。侵蚀是一个线索，暗示有某种东西出了毛病。侵蚀，这个事儿，你从中推论不出安全。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

完全自动的着陆，多半不如飞行员控制的着陆。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

我们发现对系统失败与可靠性的这种态度，还不如对计算机系统的态度好。举例说，某种温度传感器失灵，你发现了这个故障。但在18个月之后，那些传感器还在用着，有时候仍然失灵，直到一次发射不得不停摆，因为两个传感器同时失灵了。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

喷气机的行为，用传感器来检查；如果传感器没能激活计算机，就选另一架喷气机来激活。但是，传感器本不应该失灵，这个问题应该得到解决。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

要保证维护一项有道理的发射日程，但过程常常不能做得足够快，赶不上原本保守的认证标准的期望，而认证标准是要确保机器非常安全。在这种情况下，非常微妙了，常常还有看似合乎逻辑的说法，而标准改变了，发射或许仍然及时得到了批准。因此，他们就在相对不安全的条件下发射，那就肯定有百分之一的失事机会。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

让我们提出建议，以确保航空航天局的官员们要在一个现实世界里，致力于足够好地理解技术的弱点和漏洞，以便积极地努力消灭之。

——Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle *Challenger Accident*, Volume 2：Appendix F, June 1986

我们还发现“飞行准备评估”所用的认证标准，其严格性常常逐渐地降低。说什么相同的风险，以前也飞过，没有失事，这常常被接受了，

作为一个安全论点被再次接受了。因为这个，明显的弱点被三番五次地接受，有时候也不足够严肃地试图去改正，风险一如既往也不延迟飞行。

——*Star-News*, Opinion, June 18, 1986

总数将近2900次飞行，121次失败（25次中有1次）。然而，这或许包括所谓早期错误，在火箭最初的几次飞行中，设计错误被发现了，也修理了。成熟火箭的一个更有道理的数字，是50次中有1次失败。选择零件格外仔细，检查工作格外仔细，低于100次失败1次的数字是可以达到的；但是，以今天的技术，1000次失败1次多半求之不得。航空航天局的官员犟嘴，说这个数字其实更低得多。

——*Star-News*, Opinion, June 18, 1986

其实，航空航天局以前的实验已经表明：时不时地，单是此类麻烦就接近事故；这种事故，全都发出了飞行可能失败的警告，不是太少啊。

——*Star-News*, Opinion, June 18, 1986

在管理层的估计和工程师们的判断之间，我们为什么发现这么大的差距？事情显得是这样：无论出于什么目的，管它是为内部的或者为外部的消耗，航空航天局的管理层夸大了其产品的可靠性，夸大到异想天开的地步。

——*Star-News*, Opinion, June 18, 1986

这种危险以前不曾导致灾难，这个事实不敢保证下次就没有灾难，除非危险得到了彻底的理解。你用左轮手枪玩俄罗斯轮盘，第一次放了空枪没死人，开下一枪一点都不叫人舒服。

——*Star-News*, Opinion, June 18, 1986

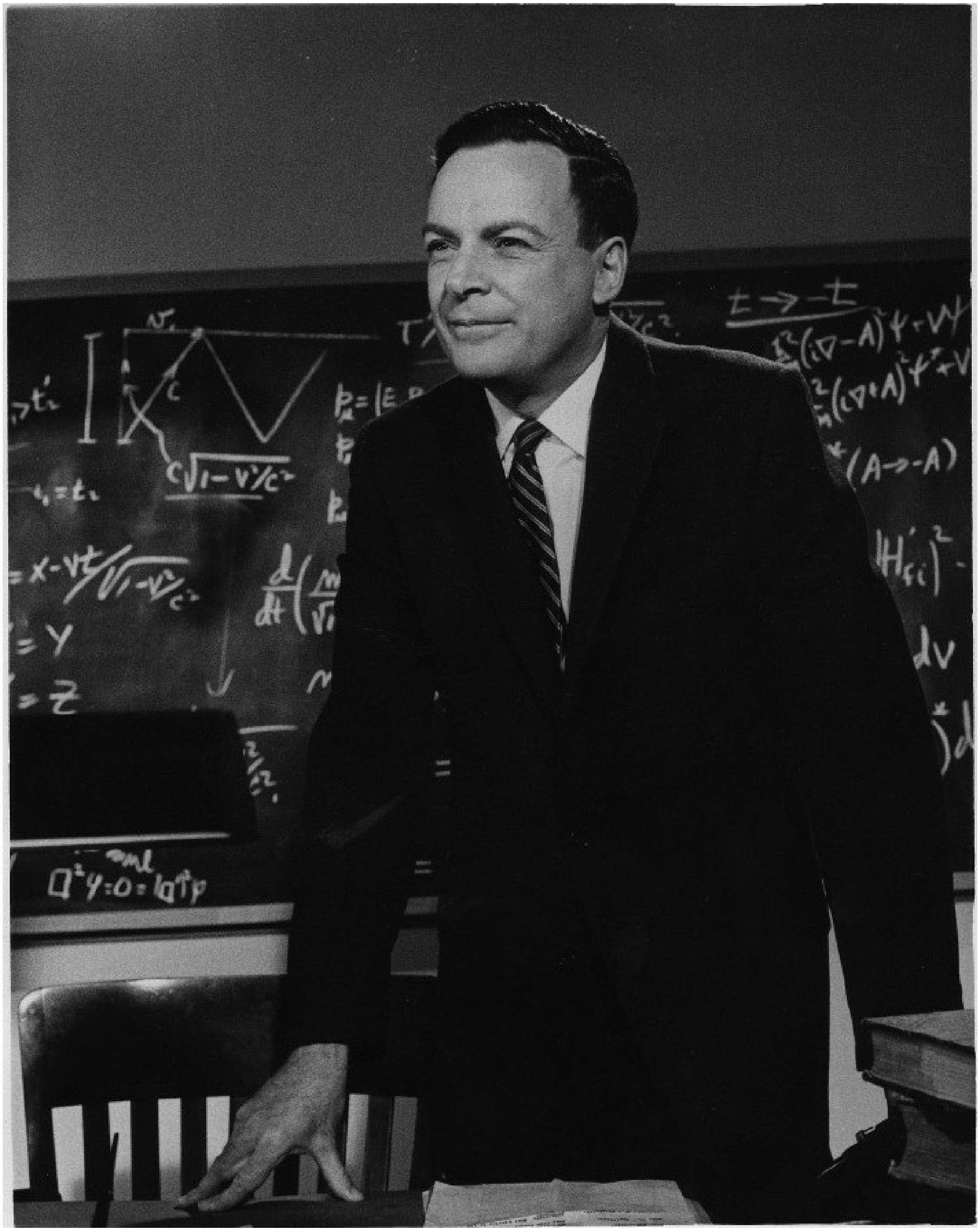
我向罗杰斯报告说，我有一些亲戚，与报界有关系，我跟亲戚聊聊，合适吗？他很高兴，说："当然啊。"

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 401）

我对我个人的舒服不感兴趣；我关心的是国家的好处。

——Correspondence with Rogers（"Mr. Feynman Goes to Washington"）

Politics
政治



加州理工学院提供照片

我们大家都知道，他们在华盛顿不知道自己在干什么。这不是说他

们是傻瓜；我们只是说，这些问题中有很多，他们没有人知道如何处理。好些专家研究过这些课题。但是，他们知道得不那么多，他们不承认。如果有个想参与管理的人说他们不知道答案，没有人会理睬他。人人都想要一种答案。但是，有朝一日或许每个人都会逐渐意识到：专家并不知道几乎任何事情。

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

在热核反应中，如果事情可以得到控制，那么一秒钟从一夸脱的水得到的能量，等于美国全部的电力。一个水龙头，每分钟流15加仑水，你就有燃料来供应美国今天使用的全部能量。因此，事情要指望物理学家琢磨出方法，把我们从能量短缺中解放出来。实际上，此事可成。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 4, October 6, 1961

[谈电子的负电性]我想测量的是物理量，我用“负号”，是因为本杰明·富兰克林，他乐意把电子叫作“负的”，对吧？因此，从1776年以来，我们就一直沿用这个说法。自从1776年以来，我们沿用了很多其他事情。他们有些人不像我这么忧虑。

——“QED：New Queries”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

科学是国际性的人类努力，如果没有世界其他地方的科学发展，就不存在什么“美国科学”。

——Letter to Mr. Stuart Zimmer, February 1982（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 344）

这就是老百姓那种思维定势：他们必须要一个答案，提供答案的人比不提供答案的人更好；其实呢，在大多数时候，相反的说法才是对的。正因为如此，政治家必须提供一个答案。正因为如此，政治允诺从来也不能兑现。那是一个死板的事实，那是不可能的。正因为如此，没

有人相信竞选时候的允诺。正因为如此，大家对政治普遍轻蔑，对试图解决问题的人普遍缺乏尊敬。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 66）

他们决定做某种全然违法的事情，在美国国内，在大陆美国，对人民的信件进行检查，他们无权这么做。因此，要设立检查制度，方式得非常微妙，得搞成一桩自愿的事儿。我们都将是自愿者，我们把信发出去，不把信封黏起来。我们都同意那全然是正当的，他们会拆开寄给我们的信；那也是我们自愿接受的嘛。

——UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

电视工业可以骄傲地成为这个国家言论自由传统的一部分。

——Letter to Bill Whitley（KNXT），May 1959（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 101）

按照宪法，那就应该投票。关于每项事务，何者对，何者错，就不应该提前就决定了。否则就不必费事设立参议院投票。只要你毕竟能投票，那么投票的目的，就是让你拿定主意，该走哪条道才好。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 52）

有一个制度，由法律、陪审团和法官构成。当然也有许多纰漏和缺点，尽管如此，我们也必须一如既往地为之工作。我非常赞赏这个制度。

——“The Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 118）

普及教育多半是一件好事，但你既能教好的，也能教坏的——你既能教假的，也能教真的。国家之间的交流，由于通过科学技术的发展而得到发展，肯定会改善国家之间的关系。事情要看你交流的是什么东西。你可以交流真相，你可以交流谎言。你可以交流威胁，或者交流善意。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我的理论是：一边是工程师和科学家，另一边是管理层，这二者之间共同利益的丧失，是合作恶化的原因。

——“Mr. Feynman Goes to Washington”，1987

你写道，真正的美国人有一颗博大的慷慨之心，这只能表明你那颗心既博大又慷慨，因为你必须知道一个伟大的国家，就像英国，人民的思想是非常复杂的，伟大与卑鄙、慷慨与自私，是共存的，正如在每个人那里也是如此。

——Letter to Reverend John Alex and Mrs. Marjorie Howard, December 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 184）

没有哪个政府有权决定科学原理的真实性，或者以任何方式为被调查的问题定性。政府也不可决定艺术创造的审美价值，不可限制文学或艺术表现的形式。政府不应该宣布经济、历史、宗教或哲学学说的合法性。相反，政府对其公民有义务维护自由，让公民对进一步的开拓与人类的发展做出贡献。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 57）

我当时就断定，我相信，在道德上要做的正确事情，就是保护我们

自己；我感觉存在一种大恶，如果它有了更多的技术力量，它只会膨胀。我所知道的阻止它那么做的唯一方法，是抢先一步，我们才能阻止他们去做，或者打败他们也可。

——*No Ordinary Genius*, p. 48

［谈罗杰斯委员会］我具有一份独一无二的资质——我完全自由，没有什么手段可以用来影响我，我相当正直而诚实。这里存在一些极其强大的政治力量和政治后果。但是，虽然大家从不同的观点已经向我解释说水很深，我全然不予理睬，我行我素，明显天真而一根筋，要达到最后的目的：首先，从物理学上说，为什么航天飞机失事了，而把如下问题放得靠后：显然，在他们做决定的时候，为什么人为地做出了坏的决定。

——Letter to Gweneth and Michelle Feynman, February 12, 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 398）

［在联合国的一次原子能会议之后］自那以后，对政府怎么工作，对政府的毛病，我有了好得多的理解。我的意思是，这些事情，要做出决定，是生死攸关的，却轻而易举地就决定了。我的意思是，一个人能如此迅速地做决定，那很了不起。因此，掷骰子能不能迅速决定？当然能——那很坏啊。那是一件非常严肃的事情啊。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

关于具有历史重要性的重大问题，轻易的决定多得可怕。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

［谈公司工人］总有某个家伙站在他们的头上，就是老板，他在技术

上比工人愚蠢，他做决定让工人该干什么，他判断工人做的事情有没有价值。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

与私企相比，政府的真实问题，是在一种过分哲学而抽象的基础上乱争。从理论上说，计划或许是好的，但没有人可曾琢磨出来政府的愚蠢是出于什么原因——直到他们动手才发现（也找到了补救的办法），全部理想的计划将如流沙一样一败涂地。

——*What Do You Care What Other People Think?*, pp. 90—91

在今天的世界上，另外一件让科学家得软骨病的事情，是选拔领导人的方法——在每个国家都是一样。如今，比方说，在美国，这两个政党决定雇一些公关人员，就是做广告的那种人，他们以必要的方法得到了训练，又说真话，也撒谎，为的是推销一个产品。这不是初衷。他们应该讨论情况，不应该仅仅编造口号。然而，如果你看看历史，在美国挑选政治领导人，在许多不同的场合，确实一直是基于口号。

——“The Role of Scientific Culture in Modern Society”，*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 109

Doubt and Uncertainty
怀疑与不确定



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

怀疑不是一个新观念；这是理性时代的观念。这是一种哲学，指引着创造了我们身在其中的民主制度的那些人。没有人知道如何运作一个政府，这个观念导致了如下观念：我们也该安排一个制度，凭借这个制度，新观念能够得以发展、尝试、抛弃，更多的新观念能够引进；一个试错的制度。这个方法得自如下事实：在18世纪末，科学已经表明自身是一项成功的事业。即便在当时，具有社会意识的人也清楚：为多种可能性敞开大门是一个机会，怀疑和讨论对挺进未知之域是必不可少的。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, pp. 148—149

带着怀疑和不确定，我是能够活下去的。我认为，一无所知地过日子，比知道可能错的答案，要有趣得多。我有一些近似的答案，有些可能的信念，对不同事物有程度不同的确定性，但我对任何事情都不绝对有把握。

——*No Ordinary Genius*, p. 239

美国的自由理想，与科学发展的理想是相同的。人类潜能的终极发展，需要允许犯错误。

——Notes for talk on “Science in America”

现在，承认不确定，是相当能自圆其说的；不知而能生活，是可能的；我们科学家对此已经习惯了，视之为当然。但是，是否人人意识到此事是真的，我不知道。我们怀疑的自由，出自科学早期岁月的一场反权威的斗争。那是一场非常深刻而顽强的斗争：允许我们提问——允许怀疑——允许不确知。我认为，我们不要忘记那场斗争，因此不要失去我们已经得到的东西，是重要的。

——“The Value of Science”（*The Pleasure of Finding Things Out*）

关于不理解，这个事儿，在科学家和听众之间，是非常严肃的。我想跟你们一道努力，因为我想告诉你某种东西：学生不理解它，那是因为教授也不理解它，这不是开玩笑，而是非常有趣的。

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

大家听说，我做的全部事情，是在黑板上画一对箭头，来计算某事发生的机会——他们就说，这个家伙不懂物理。但是，这个家伙知道那就是他必须做的事情，他因此承认他不知道自己为什么做他所做的事。我说我不知道我在干什么，别人多半也不知道，此刻你可要当真啊。

——“QED：Fits of Reflection and Transmission”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

每件事情都要细细检查，否则你就成了那么一种人中的一员，他们

相信全部种类的发疯之事，但不理解他们身在其中的这个世界。没有人理解他们身在其中的这个世界，但有些人比另外一些人还是更明白一些。

——“This Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 84）

不猜，不会是科学的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 25）

这意味着物理学这一门非常严谨的科学，已经落得仅仅计算一个事件的概率，而不精确预言何事将要发生。是这样吗？是的。

——*QED*：*The Strange Theory of Light and Matter*, p. 19

我认为，一无所知地过日子，比知道可能错的答案，要有趣得多。我有一些近似的答案，有些可能的信念，对不同事物有程度不同的确定性，但我对任何事情都不绝对有把握；有许多事情，我一无所知，例如：我们为什么在此，是否有什么意义。我不必知道一个答案。不知道事情，而迷失于一个没有目的的神秘宇宙，就我能讲的而言，宇宙确实就是那样，我不觉得害怕。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, pp. 24—25

我认为当我们知道我们确实生活在不确定之中，那么我们就应该承认此事；意识到我们不知道一些不同的问题的答案，是有很大价值的。这种思想态度——关于不确定性——对科学家至关重要，正是这种思想态度才是学生首先要获得的。它要变成一种思想习惯。一旦获得这种态度，你就再也不能离它而去。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 248

我已经学会了不知而活。我不必确知我一直在有所成就，正如我以前关于科学说的话。因为我意识到我不知道我在做什么，我认为我的生活更充实了。世界有如此广度，我心欣喜！

——*Omni* interview, February 1979

[谈“打字机科学”]有些知识人，坐在打字机前，把东西都写出来，宛如那些信息确实是已知的。知识人永远不说“我不知道这个”，也不说“我不确实有把握”。如果他这么说，他就卖不出他的文章，因为有另外一个人会过来说，他无所不知。

——*U. S.News and World Report* interview, February 1985

全部的科学知识都是不确定的。带着怀疑和不确定的这种体验，是重要的。我相信这有很大的价值，也扩展到科学之外。我相信，解决任何以前不曾解决的问题，你必须把大门向未知开放。你必须承认这种可能性，即你知道得并不确切地正确。否则，如果你已经抱了成见，你或许就解决不了这个问题。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 27）

因此，我们如今称其为科学知识的那种东西，是一堆确定性程度不一的说法。其中的一些最不确定；其中的一些近于确定；但没有绝对确定的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 27）

在任何环境中，精确地预言何事发生，是不可能的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 2, September 29, 1961

你不能面对的事情，是不知道某人在鼓捣什么。不知道，那难受。但对任何真东西，你仅仅坐在那儿，权当那是真的，然后看你在这个环境下干什么。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

不确定，没什么害处。说点什么，却不肯定，这好于什么也不说。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 26）

为了取得进步，我们意识到这种无知与这种怀疑，此事具有至高无上的重要性，因为我们有这层怀疑，那么我们就打算展望新方向，发现新观念。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 27）

如果我们无能于或者不想渴望展望任何新方向，如果我们没有怀疑，或者也意识不到无知，我们就得不到任何新观念。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 27）

我感觉到有一种责任，身为科学家，知道一种令人满意的无知哲学的巨大价值，知道这么一种哲学能导致进步，而进步是思想自由的果实。我感觉到有一种责任，要宣布这种自由的价值，要教导人们：怀疑不足可怕，反而值得欢迎，把怀疑视为人类新潜能的可能性。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It*

All, p. 28）

我想在此断言，承认无知，承认不确定，人类就有希望朝着某个方向继续运动，不固步自封，不永久停滞，就像在人类历史各个阶段中发生过多次的那样。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 34）

我们会出错的唯一方式，是在人类莽撞的青春期我们会断定我们知道某个答案。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 57）

我的一生一直受到伽利略及其与教会斗争的感召，他为怀疑自由而斗争，这种斗争一直伴随着与伽利略相关的那些人。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

看世界中的不确定性的一种方式，是假定那些东西在那儿，但我们仅仅以粗糙的方式看它们。我们一定要摆脱不确定，这么想是没有用的！

——Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality（Part 1）”，October 1984

科学家与众不同的一件事，是在他们无论做什么的时候，他们不像别人通常那么自信。他们能一直守着怀疑过日子，认为“事情或许是这样”，然后就根据这个想法办事，他们总是知道事情仅仅是“或许”。

——*Omni interview*, February 1979

我相信一个谈非科学问题的科学家，与其他的伙计一样呆；在他谈论非科学问题的时候，他就跟任何不曾在这个问题上受过训练的人一样，听着那么天真。

——“The Value of Science”, December 1955，*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 142

在这种高深而复杂的层面上，当我们交谈的时候，我们自以为说得蛮好，我们在交流嘛，但我们真正干的事儿，是运作某种大翻译程序，把这个伙计说的话翻译成我们心里的那些形象，那是大不相同的。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

在怀疑和怀疑主义里没有害处，因为正是通过怀疑，才能搞出新发现。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 396

在物理学中，真相很少有完全清楚的，而在人类事务中，不清楚肯定是普遍的情况。因此，不被不确定性包围着的东西，不可能是真相。

——Letter to the editor of the California Tech, February 1976，*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 301

你或许认为，为宗教发明一个形而上学体系，是可能的；这个体系说的样样事情，科学发现自己永远不与之抵触。但是，偏爱冒险、不断扩展的科学，一直向未知之域进发，提前说出问题的答案，无论你做的是什么，却不期望早早晚晚你会发现此类答案是错误的；这样的科学与宗教不抵触，我认为不可能。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, pp. 46—47）

科学是这么一种信念，相信专家们的无知。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 187

在你思考你不理解的某事之际，你有一种可怕的不舒服感，其名惶惑。那是一桩非常困难而不爽的买卖。因此，大多数时候，实话说，守着这种惶惑，你相当不愉快。你钻不透这个玩意儿。既然惶惑，那是因为我们全是某种猴子，某种笨货，试图琢磨如何把竿子接起来，好够得到香蕉，我们就是搞不出这个点子。我一直有这种不良之感，我是一只猴子，想把两根竿子接起来。因此，我总觉得蠢。但是，偶尔地，我把竿子接起来了，我就够到了香蕉。

——BBC, “Pleasure of Finding Things Out”；Swedish television interview on Nobel Prize winners, 1965

在理解上取得进步，我们必须保持谦虚，允许我们有所不知。没有什么事情是确定的，没有什么事情能被证明怀疑不得。你为满足好奇心而调查，因为事情未知，不因为你知道答案。虽然你在科学里搞出了更多信息，事情也不是你正在发现真相，而是你正在发现这个或者那个多少是可能的。

——“The Relation of Science and Religion”, Engineering and Science（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 248）

你不确定，这个事实意味着有朝一日有另一条路，是可能的。

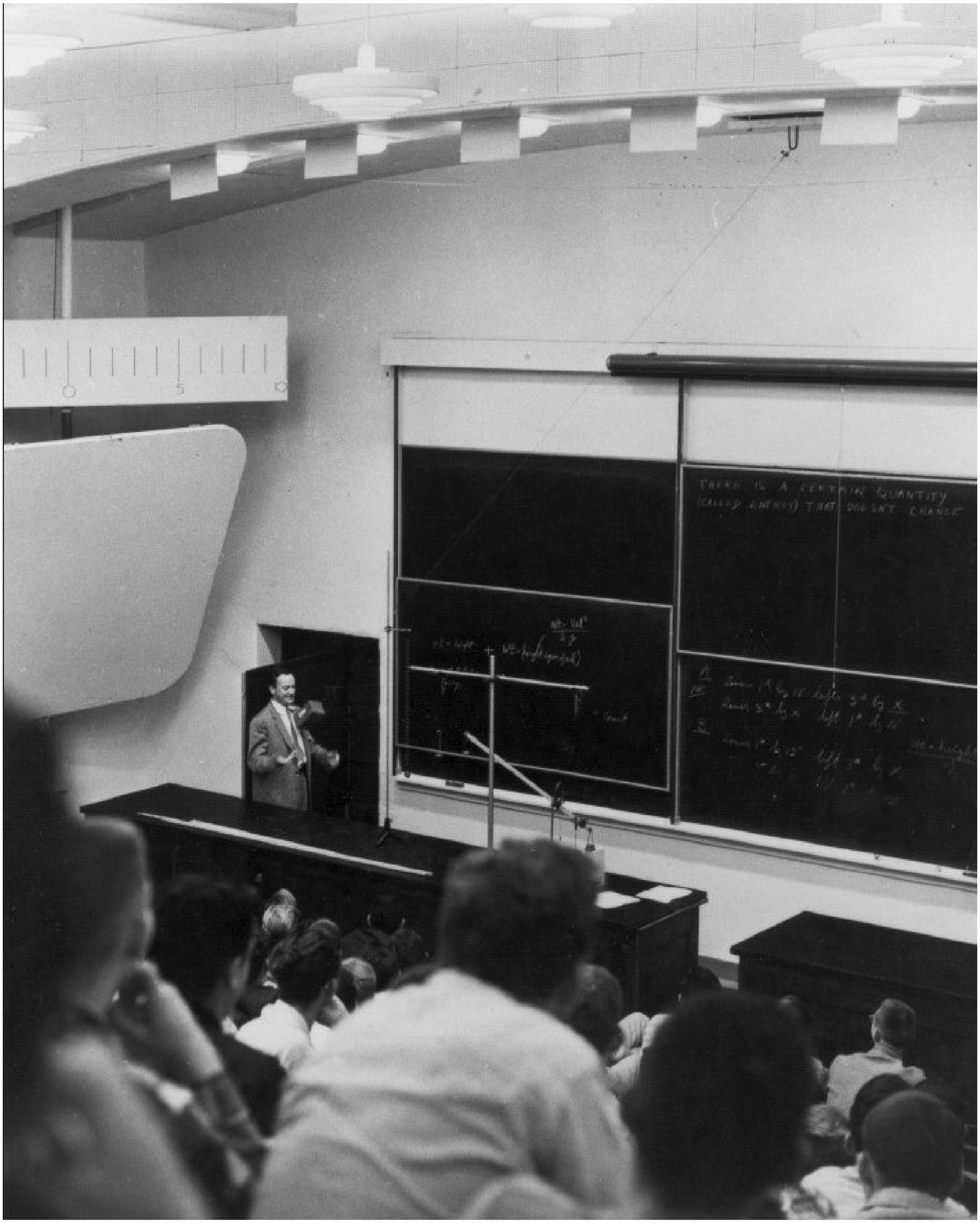
——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 49）

我们必须为怀疑留出空间，否则就没有进步，就无所学。若不提问，则无所学。问题需要怀疑。人寻求确定性，但不存在确定性。人吓坏了——你怎么能不知而活？那一点也不怪异。你实话实说，你仅仅以

为你知道。你的大多数行为基于不完整的知识，你实在不知道事情的究竟，不知道世界的目的是什么，不知道很多，不知道其他事情，不知而活是可能的。

——“The Role of Scientific Culture in Modern Society”，*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 112

Education and Teaching
教育与教学



加州理工学院提供照片

我相信，若不教学，我实在不好过。理由是在我没有什么想法的时

候，在我没有出息的时候，我必得干点什么事儿，我就可以对我自己说："起码我活着；起码我在干某种事儿；我在做贡献嘛——仅求心理安慰。"

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.165，*Classic Feynman*, p.183

为你自己挑一个问题，你发现心里揣着某种你听到的事乱转悠很有趣，你不理解那件事，或者你想进一步分析它，或者想玩某种把戏，凭此你会学得好得多、容易得多，也更完整——那是学东西的最好方法。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 15

在教科学的时候，你把关于他们身在其中的这个最奇妙的世界的事情告诉那些新脑筋，你把人们深思过的那些最伟大的观念传下去：无边无际的空间，无限的原子运动，全部生命相互作用之网，以及身负无生命之物的生命。宽广的知识之海，四面围着更宽广的未知之域，那并非可怕之事，而是有待了解的挑战。

——Notes for talk on "Science in America"

事实上，长久地凭记忆做每种事情是不可能的。那不意味着不凭记忆就做不成任何事情——你记得越多，肯定地说，就越好——但你应该能把你忘记的任何事情重建起来。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 41

实话实说，此乃你初涉任何复杂或者陌生问题的路子：你先有一个粗略的想法；然后在你理解得较好的时候，你就回去，更细致地做。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 77

我讲这个题目的时间到了，此刻我开始画猫的轮廓，为各种各样的

肌肉标上名称。班里的其他学生打断我：“那些我们全知道！”“哦，”我说，“你们知道？难怪我这么快就赶上你们这些学了四年生物学的伙计。”他们浪费全部的时间去死记那种东西，你在十五分钟之内就可以查到嘛。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.72；*Classic Feynman*, p.294

我常常生动地记得我那次最好玩的旅行。许多事情，历历在目——如我家抽屉里那件暗蓝的T恤衫——或者我办公室里的那张干涉图片——或者就是现在，我的秘书问我，我是否想在附近的一所大学（30千米外的南加州大学）或高中跟学生们谈谈话。我的回答是我乐意在任何时候跟学生们讲话，他们应该离我家很近，或者在卑诗省的温哥华。

——Letter to Mariela Johansen, April 1975

学生们或许看不到我想回答的那个东西，或者看不到我想思考的那些微妙之物，但让我想起了一个问题，因为他们问了在那个问题近旁的一些问题。要我自己想起来那些事儿，不那么容易。

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.166，*Classic Feynman*, p.184

不要查答案；自己琢磨出来。毕竟，它仅仅是自然；自然不可能辜负你。如果你思考得足够卖力，你会琢磨出来的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 30, February 20, 1962

我们尝试由理解一些简单的事情，借此学习到观念，过程是诚实而直接的。什么让云彩飘在高天之上，为什么我们在白天看不到星星，为什么油浮在水上现出颜色，什么水从壶嘴出来会形成曲线，为什么挂着的灯笼摆来摆去——全部这些数不清的小事，你都在你周围看到了。当你学会解释比较简单的事情，那么你就明白了解释到底是怎么个东西，你接着就可以解释更微妙的问题了。

——Letter to Master Ashok Arora, January 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 230）

那与你应该学的东西一点关系都没有。全部要紧的事情，是你能学到某种东西，尽可能多地学，肯定是有用的。然而，当务之急是要学某种最小量的东西，以便继续学其他东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 17, November 28, 1961

从现代物理学的观点，我将要努力解释光和电子的世界是个什么样子。这很可以说是一道命令，我可能一败涂地——但让咱试试吧。

——On his lecture topic for the Sir Douglas Robb Lectures, June 1979

那仅仅是一些名称嘛，大家用那些名称，因此我们也会用它们。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 30, February 20, 1962

外语到处都教，为时已久！关于方法和效果，没有研究吗？——起码得有非结论性的研究，表明有些方法比其他方法坏，这种研究就可以用来证明或者反驳某种做法。正是因为这个，你才需要产生怀疑和谦逊，需要产生一种更能导致不确定性的气氛。

——Letter to Dr. Amos J.Lessard, February 1983

如果你理解某事，那时你自己就能把它搞出来，你就能记住它。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

随着我得到了更多的经验，我意识到：关于如何教孩子们算数，我是一无所知。在我尚未有这种自知之明前，我确实写了一些东西。

——Letter to Beryl S. Cochran, April 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the*

Beaten Track, p. 241）

关于小孩儿，我什么也不知道。我有个孩子，因此我知道我不知道。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

你会看到，如果我喋喋不休地谈的都是这种东西，我就不会有出息。但那有趣。那又如何？那无所谓嘛。那你就学其他东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 14, November 14, 1961

学词儿是必要的，那不是科学。但那不意味着因为那不是科学，我们就不必教词儿。我们现在谈的不是教什么；我们谈的是什么是科学。知道如何把摄氏度变成华氏度，那不是科学。那是必须会的，但那不真是科学。同样道理，如果你讨论什么是艺术，你不会说艺术是关于事实的知识，不是3B 铅笔比2H 铅笔更软。那全然是另外一码事。那不意味着一个艺术老师就不教那个，不意味着艺术家不知道那个还能过得不错。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

从你脑袋里已经有的东西的角度，来解释一个观念，那是自然的。概念是互相摞在一起的：这个观念，是用那个观念的说法来教的，那个观念本身又是用另外一个观念的说法来教的，另外那个观念来自计算，人不同，对观念的理解大不相同！

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 223

兴趣，是一种感情——好比爱。它不是一个学科的属性。

——Notes

在任何思想过程中，都有一些时刻，样样事情进展顺利，你得到了奇思妙想。教学就是一种烦扰了，因此教学就是世界上最令人恼恨的苦事了。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.165，*Classic Feynman*, p.183

在心理学中，有一个深刻的问题：是什么类型的能力使孩子学得会一种语言，仅仅凭借听它，看它怎么被使用。此事怎么办成了，我们远远不知道。甚至看明白此事怎么可能办成，也是非常难的。但是，每个孩子都办到了。我们不能指望通过研究机器来解决这种问题。然而，至少从原则上说，看看机器的某种方式或许也能办到此事，却是一种引逗好奇心的学术研究。

——Letter to R. B.Leighton, April 1974

你问，这个家伙怎么能教学；如果他不知道他在干什么，他怎么可能有动力。实话实说，我热爱教学。我喜欢想出几个新路子来看我解释的事情，把事情讲得更清楚——但是，或许我没有把事情讲得更清楚。我的所作所为多半是为自得其乐吧。

——*Omni* interview, February 1979（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 200）

一些人明白一个学科，用一些词来讨论它；通过学那些词，你学不会那个学科。你必须学会如何处理观念，然后，当微妙之处发生了，需要特别的语言，你就可以用那种特别的语言，进一步发展也容易。与此同时，要紧的是清晰。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 455

在温哥华，他们待我太好了，现在我知道如何真让自己得意和讲课

的秘诀了：等着学生们请你去。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.303，*Classic Feynman*, p.338

我不知道大家都是怎么了：他们学东西，却不求理解；他们用某种别的方式来学习——通过死记硬背、生搬硬套。他们的知识是如此脆弱。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, pp.36—37；*Classic Feynman*, p.39

为大众讲物理，我很成功。真能娱乐人心的法术，是嘚瑟、表演和神秘兮兮的论题。人都爱学东西，某种事情，他们以前从来不懂，得着机会理解一星半点，他们就“乐不可支”。对题目、对大家对这题目的兴趣，你必须有信心。

——Letter to Ralph Bown, March 1958，*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 98

我相信，在全部书里，从一年级到八年级，全部的练习都应该是任何普通成年人能够理解的——就是说，你试图发现的那个问题，应该人人都了然于心。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 455

我搞的那些讲座，因为你能赏识，一直试图多一点优雅，而不直接照本宣科。我们谈了好多题外的东西，那是为了尽可能地让大多数学生感兴趣。如此进进出出，就有可能困惑了那些发现自己跟不上的学生，他们不知道什么是主线，即便我试图把主线写在这里。那么，我要干的事儿，你们许多人会觉得相当枯燥无趣；如果你不想来，就不必来；那对别人可能有用处、有帮助，那是要整个复习一下；只是这次不讲蚌的外展肌，也不讲任何题外话，只讲绝对少得不能再少的主线，把这些东西弄到你们脑袋里去是重要的，以便继续理解下一个层次的东西。现

在，你说：“如果我应该学的东西，就是少得不能再少的这点东西，你为什么把那些东西全告诉我们？”那跟你应该学什么没有关系：你们能学，就都学了呗；学得尽可能多是有用的。然而，学某些最少程度的东西，以便继续深造，却是非常必要的。下三次课将告诉你什么是绝对必须学的东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 17, November 28, 1961

物理学对全部其他科学学科有深刻的影响，因此其他学科的学生发现自己也得研究物理学。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 3, October 3, 1961

瞧，有了全部这些事儿，大问题是术语。术语听起来吓死人，但观念其实并不那么坏。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 8, October 20, 1961

那仅仅是符号——你必须知道观念啊。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 8, October 20, 1961

不要把它拷贝下来，仅仅听它说什么；否则，在它完事的时候，你不理解任何东西。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 15, November 17, 1961

没有人知道怎么教物理学，怎么教育人——那是一个事实。如果你不喜欢那种方式，那是相当自然的。要教得令人满意，那不可能：几百年来，甚至更长时间，人一直琢磨怎么教学，没有人琢磨出来。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 15

我得了一种病，全部的教授也都得这病——就是时间总也不够；我发现的问题，无疑多于我们能够解决的问题。因此，我试图快快地做事，方法是提前把某些东西写在黑板上，抱着每个教授都有的一个幻觉：如果他谈的东西比较多，他教的东西也会比较多。当然，人心能吸收多少资料，有一个确定的比例，但我们不理会这个现象；尽管如此，我们走得过快。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 71

你在学校里学到的不正确的事情之一就是：问题是相对容易的，如果问题被表述出来，你能把问题提出来，你就能解决之——这完全不是真的。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

就全部物理学课程而言，我认为麻烦之一，是他们仅仅说：你学全部这个，你学全部那个，当你从另一头出来的时候，你就融会贯通。但是，没有地图，没有“难题向导”，你知道。因此，我想造一张地图。但结果那不是一个可行的想法。我的意思是我就不曾造出这么一张地图。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

但是，一定有人活着，不听什么教授讲课，只是坐着读书，自己思考。他们必须从书里琢磨出东西。因此，如果我能保住一些希望，即读书对他们有用处，那么我对这整个的事情或许就能感觉好一些。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我真正在干的事情，是教我自己。我对发表文章一点兴趣也没有，

但我确实发现了好多东西。你瞧，我原以为别人都知道全部那些事情。与此同时，我试图教我自己。因此，我学会了许多不为人知的事情，或者几件大家不很知道的事情。我检查——那些事情，后来大家也注意到了，那是简单的，有时候我稍微提前注意到，但我做的主要事情是教我自己。

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我最终琢磨出了一个方法，来检验你究竟是教了一个观念呢，还是仅仅教了一个定义。这样检验它，你说："不使用你刚才学到的这个新词儿，试着用你自己的语言来重新表述你刚才学到的东西。"

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, "*What Is Science?*"，April 1966

学会一个神秘兮兮的公式来回答问题，是非常坏的。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, "*What Is Science?*"，April 1966

孩子应该得到孩子的答案。"把那东西打开，让我们看看它。"

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, "*What Is Science?*"，April 1966

我收到了你2月6日的信，关于为你的孩子们教科学，你让我谈谈看法。我只有一个建议——关于教学材料，千万不要把那些夸夸其谈当回事——找一个好老师，支持她。再也没有其他方法了！

——Letter to Douglas O'Brien（Sunset Hill Elementary School），March 1967

我不希望把时间匀给不学科学的学生。阅读我为科学学生写的东西

和谈话记录，我说的任何话别人都容易得到；如果得不到，那就超过了他们的脑筋了。

——Letter to Franklin W. Stahl（University of Oregon），April 1961

[回答一个孩子的问题：“时间存在吗？”]假如时间不存在，那又怎样？

——From notes for “About Time” program, 1957

在考虑到孩子们应该学的词和定义的时候，我们应该小心，不要“仅仅”教词。一些人在某个领域中使用专业词语，一般的耳朵听起来怪怪的；通过教专业词语，而不同时教观念或者事实，那就可能搞出一种知识的幻觉。那些观念和事实才需要使用特别的词语，方式还要特别，还要特别在意它们的定义。

——“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965；*Engineering and Science*, p. 13, March 1965；*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p.453

学生们有一种直觉、一种技巧，能够认识清楚“全部那些胡说”讲的仅仅是“胡说”。看破皇帝新衣的，正是一个孩子嘛！

——Letter to Richard Godshall, March 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 218）

我相信，对一位好老师而言，一本书应该仅仅是一个助手，不应该是一个独裁者。

——Letter to Richard Godshall, March 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 218）

不要忘了你也是一个人，站在你学生的立场上吧。

——Letter to Richard Godshall, March 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 218）

科学是一种不断行进的科目，新的研究总是修正老观念；知道此事，对学生是非常好的。我本人会很高兴看到你们和物理学家对我的那些观点进行用心的批评。

——Letter to Sandor Solt, April 1969（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 251）

简单的问题，答案却复杂，总是笨学生问的。只有聪明学生受到训练，去问复杂的问题，答案却简单——正如任何老师都知道的那样（只有老师认为存在简单的问题，回答也简单）。

——Letter to Professor Michael H. Hart, December 1980（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 330）

仅仅在为研究生教物理方面，我蛮有经验；正因为这样，我知道我不知道怎么教学。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

我们断定，在研究生院，我们再也不必教基础量子力学课程。在我当学生的时候，在研究生院，他们甚至都没有量子力学的课，大家认为那门课太难了。在我开始教学的时候，我们有这么一门课。现在，我们为本科生教量子力学。我们现在发现，我们不必为从其他学校来的研究生再教基础量子力学。为什么课程往下移了？因为我们在大学里能教得更好了，也因为上来的学生得到了更好的训练。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

我认为那很重要——起码对我很重要——如果你要教大家做观察，你应该让大家看到某种奇妙的东西，那是可以从观察中得来的东西。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

我现在知道，一个研究生一晚上的工作，一个教授十秒钟就做完了，这是可能的。

——CERN talk, December 1965

在许多国家有许多物理教学新计划，结果表明任何方法大家都不满意。可能是这样：许多新方法看上去蛮不错，因为没有人试用足够长的时间，也就发现不了那些方法的毛病；而全部的老方法，我们用了足够长的时间，其毛病就显得清清楚楚。

——“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

事实是没有人清楚知道如何告诉别人教学；因此，在我琢磨如何教物理的时候，咱必须谦虚，因为没有人知道怎么教。对于新发现，一个严重的问题和一个机会，是同时发生的。

——“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

科学是人的一种活动；对许多人而言，科学是一大乐趣，世界上大部分地方的人都应该有机会接触科学，否则教育体系就有缺陷。

——“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

靠死记硬背，知识得不到理解，自然之美得不到欣赏。记忆讲不清事情是怎么被发现的，也不能揭示一个善于发明的心灵有什么价值。

——“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

我明白，我应该有所反应，因此我打算讲讲我的教学哲学。在沉思默想了好久之后，我发现我一无所得，得到的仅仅是老生常谈，不重要的事情。于是我就打电话，问我能不能讲其他事情，因此我会讲物理学本身的事情，不讲教学的事情了，因为我对教学一无所知。

——Oersted Medal acceptance speech, 1972

比方说你得了一种病，韦格纳肉芽肿或者无论什么病，你在一本医学参考书里查。你可以发现，你当时对这病知道的东西，比你的医生还多，虽然他在医学院里花费了全部的时间，你明白了吧？要了解某个特别的、有限的题目，要比了解整个领域容易得太多了。

——*Omni interview*, February 1979

我一直对我的学生失望。我是一个不知道他在干什么的老师。

——*Omni interview*, February 1979

我的任务是解释全部这个东西，并说服你不要打退堂鼓，因为它显得很费解。那就是我们要花四年时间教给学生的东西：要抓住他，不让他打退堂鼓，是因为那东西看起来让人发疯。此事的有趣之处是，在这种意义上大自然奇怪得无以复加！

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

我有时候觉得，不教我们的孩子数学和科学这样的科目，那要好得多。如果我们不管年轻人，出于偶然，孩子们会发现一本好书，或者一本老课本，或者一个电视节目，那会让他们兴奋起来。但是，年轻人上了学，他们听说这些课程无趣、可怕，不可能理解。

——*U. S.News and World Report* interview, February 1985

[谈学校的课本]那些书无意于把课程搞得简单易懂。它们致力于把课程搞得容易知道怎么做才能通过考试，才能取悦老师。

——*U. S.News and World Report* interview, February 1985

我的理论是：一个兴奋而热情的老师，在一种实验性的新境况中教学——尝试新东西——人格力量喷薄而出，学生们（至少部分学生）情不自禁地跃跃欲试。学生心领神会才好。

——Letter to Mr. Robert Bonic, January 1974

普及教育是需要的，因为学生为数巨大，需要大量教师。因为有那么多教师，而只有不多几个人真正出类拔萃，我们就必须意识到大多数教师必然平庸，或者呆傻。这不是说这个职业的坏话——这仅仅是一个算数问题。

——Letter to Mr. Robert Bonic, January 1974

关于你对教学的尝试：那太难了，是吧——你可以把马牵到水里，但你不能让这些笨蛋喝水啊！

——Letter to Malcolm Joseph, January 1982

我生活的小乐趣之一，是一年一两次到范奈高中（Van Nuys High School）去为库茨先生（Mr.Coutts）班级的科学学生回答问题。这项活动是若干年前由库茨先生提议的，我期望每年都搞。问题关于任何事情：相对论、黑洞、云彩、陀螺、磁力，随便你说。这个班很活跃，也很感兴趣，似乎和我一样喜欢。

——Letter to Ms. Melinda Jan, April 1985（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 380）

[给一个学生的建议]如果教授和同学似乎知道某些事情，但对另外

的事情漠然视之，也不影响你跟他们学他们知道的东西，同时深入了解他们有盲点的东西。

——Letter to Mr. Alan Woodward, March 1982（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 345）

大多数理论家不知道“线空间”是一个问题。在他们看来，一根电线是一种理想化的细线，不占有任何空间，但干活儿的计算机设计者很快发现，他们不能把足够多的线弄进去。

——“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

在学生听不懂教授的时候，学生通常认为那是因为他自己迟钝，跟不上。这一次是因为教授没有说出任何合情合理的东西。

——“Tiny Computers Obeying Quantum Mechanical Laws”，*New Directions in Physics*：*The Los Alamos 40th Anniversary Volume*，1987

把任何课程教得呆滞无趣是容易的——把一门课教得有趣，却非常稀少，但并非不可能。

——Notes

如果你细看任何事物，你会看到没有什么比真相更令人兴奋。真相是科学家的含金矿土。

——*The Meaning of It All*, pp. 12—13

你教的是一种自由、探究、善于发现的心灵的价值——那种心灵，建造了美国；建造美国，是为了那种心灵。

——Notes for talk on “Science in America”

或许会有某个观念，你初次研究它，很难理解。例如，爱因斯坦的

理论，或者诸如此类的东西。一个人想了解它，但理解不了。后来，他终于理解了它——比方说，他去教这东西，终于理解了它。他认为他理解它的那种独特方式，比那个东西以前呈现给他的样子，清楚多了。因此，了不得，他投出了一篇文章——看那东西的新方式！其实，那不是一个新方式。我的意思是，那或许也有一点新，但那是非常个人化的方式，那也不算别出心裁。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

起先我教学很卖力，课教得很好。我认为学生觉得满意。后来，你又上同样的课，如果你不重新组织，你就不那么卖力了。对教学，我越来越不上心了。如果我教某种以前教过的东西，那就不再是一门好课程了，因为我从以往借了太多的东西；我太懒了，懒得改作业，懒得备课，我认为那不再是好课程了。我认为，身为教师，相对而言，我越来越不用心。我是说，我仍然有用，但我认为我以前是好的，确确实实是好，相对而言吧。现在我懒了。

——Interview with Charles Weiner, June 27, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

你知道，有可怕的一大堆死记硬背的学习，一大些专业术语和错误知识等等。一个措辞正确的家伙，就被认为明白事情。我不想多事儿，但在我的孩子学会说话之后，我可以教他——仅仅为乐趣，我认为我会展现这个事情，但我不想烦我那个可怜的男孩——但是，教一个孩子说π是圆周与直径的比值，并非不可能。那和教他儿歌一样容易。然后说，π的数等于3.14159。那样你就傻了。你对你谈的东西没有丝毫想法，你仅仅是听上去不错。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我讲座，我教课，反映如何，我从来不知道。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

教给他们我们的社会治理与我们时代的文化，让他们准备得更好，有能力观察和欣赏，或许也能参与人类心灵的最伟大探险。

——Notes for talk on “Science in America”

今天我们没有办法来告诉一个学生如何切实地理解物理学。我们写下了定律，但我们仍然不能说如何切实地理解之。切实地理解物理学的唯一方法，因为我们没有什么法术来表达这一点，那就是按照巴比伦的死板办法，对付好多问题，直到搞出想法。那是我能为你做的全部事情。搞不明白巴比伦的学生，考试不及格；搞得明白的那些家伙，死了；因此横竖一样！

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 50

如果我们要解释这个理论，第一个问题是你能理解它吗？你能理解这个理论吗？我首先告诉你，我们第一次向物理学生充分地解释它，那时候他们是三年级的物理学研究生，那么你认为这个答案会是不。那是对的：你不能理解它。

——“QED：Photons—Corpuscles of Light”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

我认为我们应该教他们：知识的目的是更多地欣赏自然之妙。知识仅仅是把自然的奇妙放在正确的框架中。

——On teaching science to the public, Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

如果英语教授对我发牢骚，说来到这个大学的学生，在学了那么多年之后，连“朋友”这个词也写不对，我就对他们说：那问题在于“朋友”这个词的写法别扭。

——“This Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 117）

Advice and Inspiration
建议与灵感



加州理工学院提供照片

如果你有什么天资，或者如果你有什么自得其乐的事儿，那就干到底。不要问为什么，不要问你可能遇到什么困难。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 120

别人认为你应该有什么成就，但你没有责任满足他们。我没有责任活成他们期望我的那个样子。那是他们的错误，不是我无能。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.172；*Classic Feynman*, p.189

你问我，一个普通人能不能想象一些东西，正如我想象的那样。当然能啊！我就是一个普通人，卖力研究而已。不存在什么奇迹人物。他们碰巧对这个事儿感兴趣，了解全部这种事情，但他们仅仅是人。

——*No Ordinary Genius*, p. 141

[谈启示]我希望金子——能鼓舞你前进。

——Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

知道如何解决别人已经解决了的每个问题。

——Written on blackboard when he died

仅仅因为费曼说他支持核力量，那完全不是什么值得注意的说法，因为我可以告诉你（就我所知），在费曼说起这种事情的时候，他其实不知道他在谈什么。他知道其他事情（或许）。不要理睬“权威”，你自己思考吧。

——Letter to student Mark Minguillon, August 1976（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 305）

任何真知识必须以某种方式被发现出来。如果一个专家告诉你“一个大人物发明了它”，而那些观念得不到解释，你就信不过他。

——*U. S.News and World Report interview*, February 1985

有时候，你必须干的全部事情——什么也别管，仅仅是以一种别出心裁的方式努力考察一个问题。如果你时不时地记得思考，你就不会“扼杀创造过程”。你没有时间思考吗？

——Letter to Michael E. Stanley, March 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 283）

发现并从事某个有趣之事，它特别叫你开心，那么你就变成了某种暂时的专家。那是一种挽救你灵魂的方法——于是你总是可以说：“好了，起码其他伙计对此一无所知！”

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 41

要知道你何时知道，你何时不知道，你知道什么，你不知道什么，你必须非常小心，不要把你自己搞糊涂。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”，1972

在科学中，你应该相信逻辑，相信仔细提出的论据，不要相信权威。

——Letter to Beulah E. Cox, September 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 290）

努力研究让你最感兴趣的东西，方式要尽可能地最缺乏训练、最不默守成规、最原创。

——Letter to J. M.Szabados, November 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 206）

有些事情，你希望做得最好，你就要为之工作，尽你所能地努力、多干。如果你能，就别把其他课程的分数搞成零分，设法及格。

——Letter to V. A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 415）

在你年轻的时候，找到你爱干的事儿，那事儿足够大，能占住你全

部成年岁月的兴趣，那是很妙的。因为，无论那是什么，如果你做得足够好（如果你真喜欢，你会干好），大家横竖会要为你想干的事儿付钱给你。

——Letter to Eric W. Leuliette, September 1984（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 369）

就某些人而言，在年轻的时候，你只想在一个方面走得快、走得远、走得深——全部其他事情都作为相对没有意思的事情忽略了。但是，后来，你长岁数了，发现几乎样样事情其实都有趣，只要你钻得足够深，而你年轻时候学到的东西，是你钻得更深也更有趣的东西。

——Letter to Mr. V.A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 283）

努力工作，找到某种让你心醉神迷的东西。一旦你找到了，你就知道你一辈子的事业了。

——Letter to student Mike Flasar, November 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 229）

不要想“你想成为”什么东西，只想你“想干”什么事情。

——Letter to V. A.Van Der Hyde, July 1986（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 415）

我对你们只有一个愿望：运气要好，到一个地方，你在那里随心所欲地保持这种正直，我才说的那种正直；你在那里不觉得受到强迫，不觉得需要保住你在组织中的地位，或者要保住经济支持之类，不必为此而丧失了你的正直。祝愿你有那种自由。

——“Cargo Cult Science”, Caltech commencement address, 1974（*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 216）

[谈社交的高雅]那非常时髦，人人都相信人应该高雅，这话不对。你是某种可笑人物，因为你不怎么上道。有好多人高雅，他们微笑着，甚至文质彬彬，蛮有优越感，他们明白什么是高雅——高雅是一种装，但你起先不知道。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

读书不要读得这么多啊，看看你周围，想想你在那里看到的东西。

——Letter to Master Ashok Arora, January 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 230）

只靠物理学，你发展不出一个人格；生活的其他部分，也必须鼓捣进来。

——Letter to Mr. Alan Woodward, March 1982（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 345）

坚持做一个善于思考的人，你将会一直自由，因为自由是思想与行为的一致。

——Notes for a commencement speech

不要一直觉得自己是无名之辈——那活着太悲惨了。知道你在世界上的位置，公平地评估你自己，不要用你年轻时的那些幼稚想法来看你自己，也不要用你错误地设想是你老师的那些理想来看你。

——Letter to Koichi Mano, February 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 201）

我不能相信我曾经说过我喜欢听到老朋友的消息——或许我喜欢过——但我厌恶回信！

——Letter to Dr. N.H.Spector, September 1985

没有什么问题微不足道或者鸡毛蒜皮，只要我们确实能做某种跟这问题有关系的事。

——Letter to Koichi Mano, February 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 201）

我进了麻省理工学院的数学系，又转到电子工程系一段时间，然后安顿在物理系。物理算个什么领域？除了断定我最喜欢理论研究之外，我还四处乱逛，重视过的事情有分子学、量子电动力学、液氦理论、核物理、湍流（我在最后两个问题那里不成功，因此什么东西也没发表），最近是粒子物理。你能对付什么问题你就对付什么，不必在乎领域。

——Letter to student Mark Minguillon, August 1976（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 306, 309）

我有什么建议？拉倒吧。别害怕。什么给你的乐子最大，你就干什么吧。建造一个云室吗？那就去干那类事情。发展你的才能，不管那会把你引到哪儿去。鱼雷全速前进，管那个！

——Letter to student Frederich Hipp, April 1961（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 120）

告诉你儿子，停止卖力往脑袋里塞科学——因为往脑袋里塞爱情就足够了。

——*No Ordinary Genius, The Illustrated Richard Feynman*, p. 161

我们从经验中得知，真相会出来的。其他实验家会重复你的实验，发现你是错了还是对了。自然现象将同意或者反对你的理论。还有，如果你在此类工作中没能做到非常小心，虽然你或许博取了一时的名声和

兴奋，你将得不到身为科学家的好声誉。我说的是这种正直，这种不愚弄你自己的小心劲儿。在野狐禅的科学研究中，这种正直在很大程度上是不见踪影的。

——“Cargo Cult Science”, Caltech commencement address, 1974

因此，你知道怎么做“三角测量”是头等重要的——就是说，知道如何从你已经知道的事情中琢磨出某种事情，那是绝对必要的。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 39

最好的事情，似乎是对你最好的事情，不是对我；因此，你会以你自己的自信、兴趣和人格来鞭策你的学生。听别人说三道四，那不好。

——Letter to Professor P. Mitra, December 1973

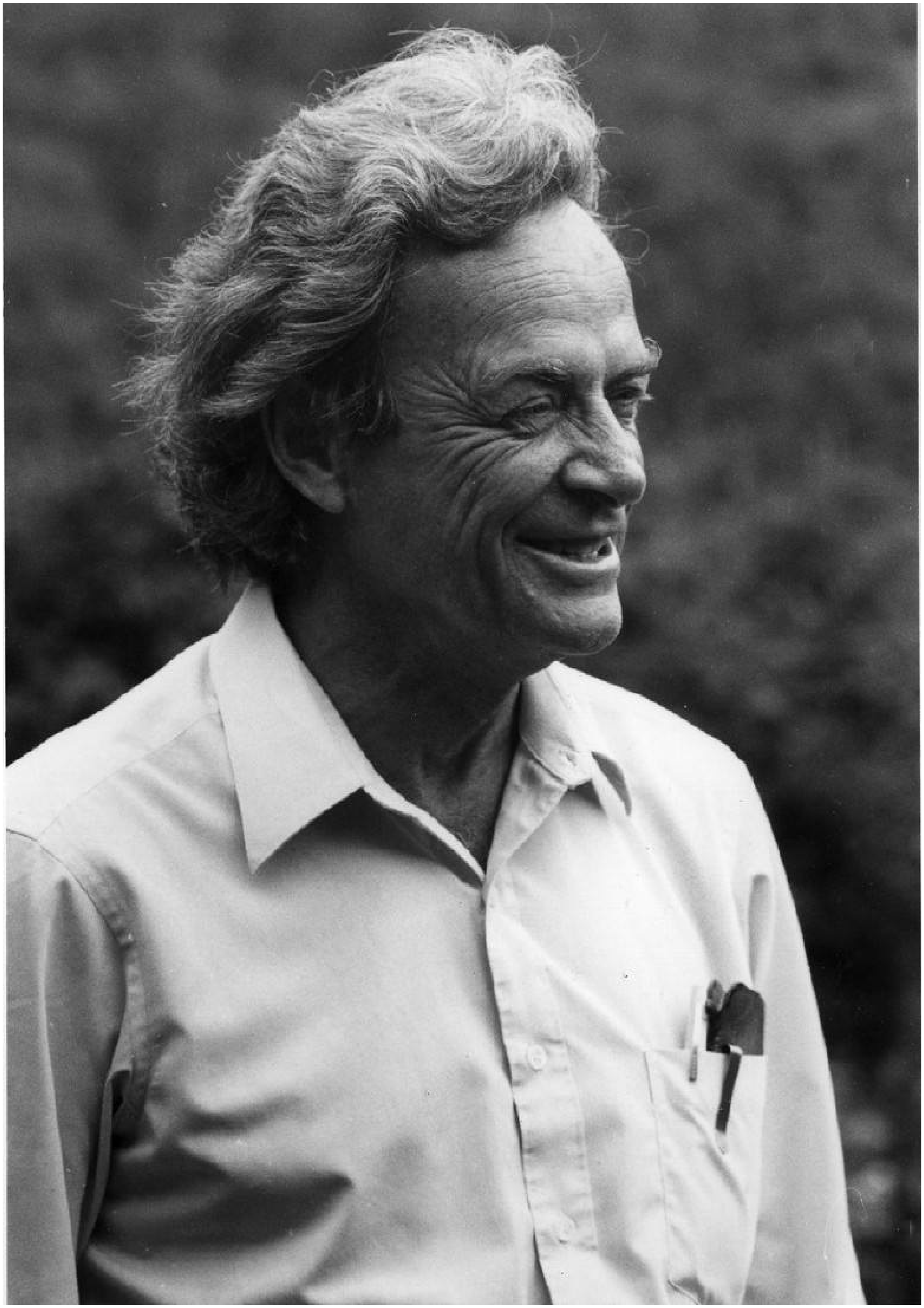
如果你觉得你或你的朋友知道得足够多，可以给人出主意，建议上什么课，等等，那是你的事儿。如果不是这样，那么就各人自扫门前雪，回家去，尽你所能为你自己的物理学学生上最好的课。

——Letter to John M. Fowler, March 1966

我们会假定某种事情：全部能量是正的。如果能量是负的，我们知道我们就能解决全部的能源问题，手段是把粒子倒进负能量的坑里，运作世界而有额外的能量。

——Dirac Memorial Lectures, “The Reason for Antiparticles”，1986

Intelligence
智力



米歇尔·费曼提供照片

我非生而知之，我只是有一点时间，在这里那里改变一下。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 396

一般的傻瓜无害，你可以跟他们说话，努力帮他们的忙。但浮夸的傻瓜——那些身为傻瓜，还要掩盖，还要给大家留下印象，满脑子胡诌八扯，让大家觉得他们多么奇妙，那个，我忍无可忍！

——*Surely You're Joking, Mr. Feynman*！, p.284；*Classic Feynman*, p.264—265

要理解量子力学，或者要想象电磁场，那来自练习、阅读、学习和研究，没有什么天资，没有什么特别的能力。我也不是一生下来就懂量子力学——我仍然不懂量子力学！

——*No Ordinary Genius*, p. 141

一般人不聪明，这整个的看法，是非常危险的思想。即便那是真的，事情也不应该用俗人那样的方式处理事儿。

——"The Unscientific Age", John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 88）

我不知道那到底是什么，但它有趣：当你做某件傻事时，你不知道你自己的傻，你以此保护你自己。

——"The Remarkable Dr. Feynman"，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

即便你是一个班倒数一二名的学生，那也不意味着你不行。你仅仅应该把你与一伙儿讲道理的人进行比较，而不要和凑在加州理工学院的这伙神经病进行比较。

——*Feynman's Tips on Physics*, p. 18

你首先要对付的事情，是一个人是否知道他正在讲的事情，他讲的东西是否有某种根据。我用的窍门是很容易的。如果你问他一些聪明的问题——就是说，那是鞭辟入里的问题，而非一个论题的那些老实的、坦白的、直接的问题，不用心眼的问题——他很快就被逮住了。那就像孩子问天真的问题；如果你问天真而切题的问题，那么此人就几乎不能立刻知道答案，假如他诚实的话。

——“This Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 65）

我是一个探索者，对吧？我对万事万物都好奇，我就想研究五花八门的东西。

——*No Ordinary Genius*, p. 193

我不能创造的东西，我也不理解。

——Written on blackboard when he died

我学会了画画，读了一点东西，但我确实仍然是一个非常片面的人，我知道的不太多。我的心智是有限的，我把这心智用在一个特别的方向上。

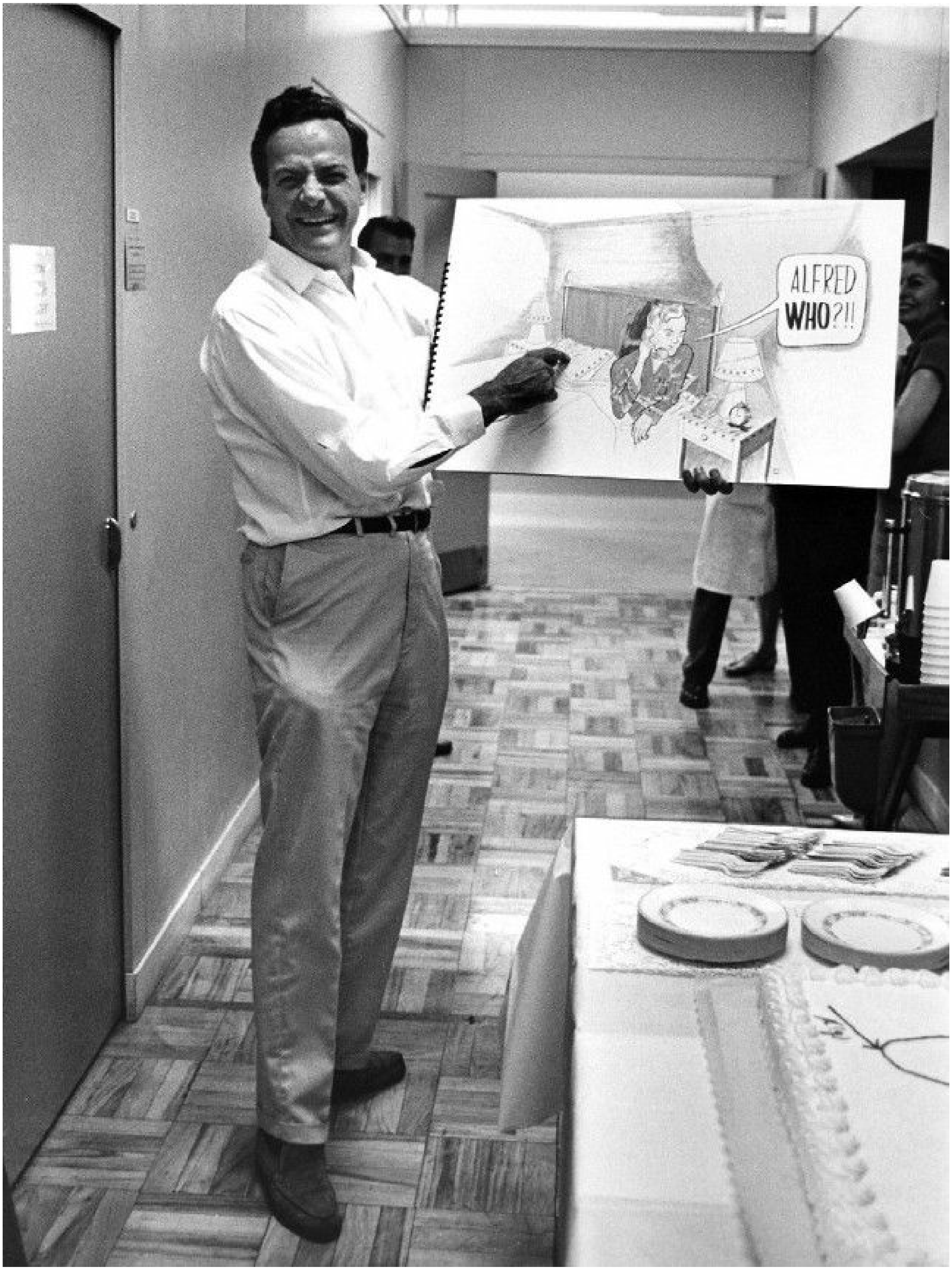
——*What Do You Care What Other People Think?*, p. 11，*Classic Feynman*, p.13

无论我们如何仔细地选人（在1961年加州理工学院只收男生），无论我们如何耐心地分析，学生来到这里，就发生了一件事：结果总有大约一半的人低于平均水平！你当然嘲笑这个事实，因为那对理性是自明的，但对感情却不那么明白——感情不能嘲笑此事。在高中的科学课程中，如果你一直是一二名（甚至可能是第三名），你会觉得你班科学课程平均水平之下的人是完全的傻瓜，可如今你突然发现你在平均之下

——你们半数的伙计就是如此——那就是一个可怕的打击，因为你想象那意味着你和高中的那些伙计一样呆，相对而言吧。这就是加州理工学院的很大短处：那种心理上的打击是很难消受的。

——*Feynman’s Tips on Physics*, p. 17

The Nobel Prize
诺贝尔奖


ALFRED
WHO?!!

休斯飞机公司

我不喜欢荣誉。我欣赏荣誉，是为我做的研究。我知道很多物理学家使用我的研究。我不需要其他的。我不认为其他事情有任何意思。瑞典科学院的某人断定这项研究工作“足够高贵”，可以获奖，我看不出这有任何意义。我已经得到了奖赏：这份奖赏就是发现东西的快乐，是这项发现中的激情，是可供其他人利用的观察结果。这都是真东西。

——*No Ordinary Genius*, p. 82

你知道，我是在1949年做这项研究的。我猜大家认为诺贝尔奖都发完了，就回顾旧东西。

——*South Shore Record*, October 28, 1965

因此，你们瑞典人，连同你们的荣誉、你们的喇叭，以及你们的国王——原谅我吧。因为我终于明白——这些事情为通向心灵提供门径。聪明而文雅的人民使用这些东西，能产生美好的感情，甚至能在人间产生爱，那甚至超越了你们自己的土地。为此教益，我谢谢你们。
Tack（谢谢）！

——From Les Prix Nobel en 1965[Nobel Foundation]，Stockholm, 1966

因此，我在年轻时钟爱的老理论有什么遭遇呢？那个，我要说，老理论变成老太太了，她的吸引力所剩不多了，今天的年轻人看到她，也不心跳了。但是，我们可以为任何老太太说出最好听的话：她一直是一位非常好的母亲啊，她生了一些非常好的孩子啊。为对那些老太太理论之一的奉承，我感谢瑞典科学院：谢谢你们。

——From *Nobel Lectures, Physics 1963—1970*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

获奖的愉快之事中，有一种是听以前的学生说话。

——Letter to Loren A. Page, November 1965

我听到关于诺贝尔奖的事情，我也兴奋，和你的想法是一样的：我打小手鼓，终于打出名声了。

——Letter to Sandra Chester（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 163—164）

有各种各样的东西，有严肃的和幽默的，有电报和书信。在每一件东西中，我都读到那些人的快乐，读到一些真正的爱的感情，那彻底感染了我，让我感到了所有那些人的真爱，因为他们对这些庆祝活动似乎非常关心，非常快乐。我不曾意识到各种事情纷至沓来，那确实让你感觉良好。因此，那是得奖这整个事儿的好的部分，那些信。那是好的部分。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我们不曾用胶子定量地检查这个理论——它可能是错误的。我们只有几个实验来检查W玻色子——那可能是错误的。一方面，为什么它看起来居然像是同一种东西的重复？首先：人类的想象力有局限。他看到一个新理论和一个新现象，就想把这个现象嵌在那个理论中，直到做了足够多的实验，也不知道那不管用。因此，他于1979年在新西兰讲课的时候，他认为那是管用的！

——“QED：New Queries”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

有个伙计在炸药上赚了大钱，就想把自己搞得不同凡响，把他的名字搞在一个大奖项上，因此人人都记得“诺贝尔”这个名字，因为那个，我心烦。去它的。

——“Nobel Prize：Another Side of the Medal”，*The Los Angeles Times*, October 7, 1983

抛头露面，跟国王吃饭，跟国王见面，领奖，净这些事儿，瞧见吧。最坏的是我嘲笑国王以及此类事情。我嘲笑仪式。我以前是那样，现在也一样。我为这种事情发笑。在这里，我不得不混迹其中。别人做这些事儿，我嘲笑之，不算非常离谱；但当你置身其中，因为你在领奖，等等，你就从善如流，不搞某种——你知道，你以前习惯于嘲笑，此刻你是大腕，身在其中，再也不笑了，哈哈哈！

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

你得了诺贝尔奖，你犯的真正的错误，是你把那一切都看得过分严肃了，比方说，这个演说。我非常烦——搞这么一个演说，合适吗？那一丝半点的用处都没有。演讲其实不非常重要。你说什么都行，无关紧要。毕竟，我可否让你知道，我一辈子都不曾读过别人的诺贝尔演说？演说稿出版了，但谁读啊？

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

如果有人说：“我们需要一个诺贝尔奖得主，让他签署一封给苏联的信，是关于犹太人问题的。”我就说：“我愿意签署一封给苏联的关于犹太人的信，但我不愿意以诺贝尔奖得主的身份去签署一封给苏联的关于犹太人的信。”

——Interview with Charles Weiner, February 4, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

现在事情居然是这样：在你得了诺奖之后，大家认定你也能为你没得奖的事情讲几句。他们为你发那个奖，我应该认为他们是知道为什么发的；但是，他们看起来是有点不怎么知道为什么发的奖。

——CERN talk, December 1965

[听到获得了诺贝尔奖]电话响了，那伙计说他是一个广播公司的。我给吵醒了，非常烦。那是我的自然反应。你知道，你半睡半醒，你会烦。因此，那个伙计说：“我们很乐意通知你，你得了诺贝尔奖。”我暗自思忖——我仍然烦着呢，明白吧——我仍然没清醒。因此，我说：“你本可以在上午告诉我嘛。”他就说：“我还以为你喜欢知道呢。”好吧，我说我还睡着呢，就把电话放回去了。

——“Nobel Prize：Another Side of the Medal”，*The Los Angeles Times*, October 7, 1983

我把我自己视为一个普通的伙计，我讨厌别人发现我。我讨厌发现我看自己的方式不是别人看我的那种方式。他们把我搞成某种诺贝尔奖得主，但我确实仍然不觉得我跟我以前有什么不同。

——Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

人人都总是乐意把“诺贝尔奖得主”选来当重要的科学家的例子，这叫我恼恨。我们为什么那么在意瑞典科学院院士们的选择？那对无知的公众而言，或许还算不错，但一位科学老师真的能够做出自己的选择，他知道哪些科学家激发了他的想象力，知道该让学生们注意哪些人。

——Letter to Mr. Stuart Zimmer, February 1982（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 340）

我时不时地对身为“诺贝尔奖得主”这件事感到厌烦。

——Letter to Mr. Stuart Zimmer, February 1982（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 340）

要挤出象牙之塔，是非常难的；光线太强，晃眼。更叫人受不了的是，想到我穿着燕尾服，从瑞典国王手里接过某种东西，电视摄像机还

在一旁盯着。

——Letter to Betsy Holland Gehman, November 1965（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 187）

听到老同学的问候，不亦乐乎；得了诺贝尔奖，这是最好的那部分事情之一。各种各样的人，我以前认识的，喜欢的，但好久不通音信，如今都活蹦乱跳地跑出来了。

——Letter to Wanna M. Hecker, November 1965

我以前常常能到任何一所高中，在物理学习小组回答问题。但是，现在，他们甚至都不问我问题了。他们害怕了。他们不乐意请一个诺贝尔奖得主对物理学习小组说话。如果有某个学生终于鼓起勇气问我，接下来的事儿，是我说，好哇。等到了那儿，那里不只是物理学习小组，而是全校师生。校长或者物理老师发现了物理学习小组的那个孩子干了什么事儿，他们就说："哎呀，他这人太重要了，人人都对这伙计感兴趣嘛。"这荒腔走板了，我打不起精神了。

——"The Remarkable Dr. Feynman"，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

[谈得了诺贝尔奖]你无处可逃。一个伙计半夜三更给你打电话，我的第一反应，是我不要这奖了。但是，然后我意识到，如果我那么说，我就成了更大的臭石头了，还不如干脆领了奖。你束手无策。如此叫人束手无策，不公平啊。为什么你的私生活和样样事情偏得受别人的干涉，没有什么道理嘛。

——"Nobel Prize：Another Side of the Medal"，*The Los Angeles Times*, October 7, 1983

[得了诺贝尔奖之后]我们收到几百封来信，全世界的朋友发来的，还有亲戚——如我的一位亲戚，碰巧在一艘船上，你知道，从西班牙开到某处，哇，他简直是大张旗鼓，发来一封长篇电报。我接到一个从墨

西哥市打来的电话，我听不清，因为电话系统不那么好。我仍然试图打回去，告诉那个人，我很喜欢他打电话来，谢谢他们打电话，但我不知道他的电话号码，我就束手无策了。很难听清楚，但我最终明白那是谁。各种各样令人兴奋的事儿。非常可爱的来信。它们都充满了——某种快乐。人人都兴高采烈，每一封信都表示一家人的某种兴奋，无论是谁。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

跳舞之后——你知道，我得放松放松，受不了那些繁文缛节——我当时过分拘谨了。等我不正式了，我就放浪形骸，你知道。因此，在开始跳舞的时候，我们就开始跳，我是跟我妻子跳；然后我跟另外一个人跳，是一位诺贝尔奖得主的妹妹。我不跟公主跳，因为我有一种——你知道，我连想都不想。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我跟我妻子跳舞，我跟一位诺贝尔奖得主的妹妹跳舞，那时候大家在照相，一直在照——咔嚓咔嚓，镁光闪闪。在我跟这位姑娘跳的时候，我跟她跳了两次，跟别人也跳两次——没人拍照，什么也没有，报纸上连一张照片也没有，什么也没有。显然，这里有什么事情不对劲，你明白，他们这是保护诺贝尔奖得主，免得他们傻乎乎。但是，这是我放松的办法，我不想那么正式。我必须干点什么事情，因为我必须从下层出人头地，你明白我那是什么意思吗？那有趣。那好笑。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

这个奖是一个信号，让他们表达感情，让我了解他们的感情。每一

种快乐，尽管是转瞬即逝的兴奋，在许多场合重复过了，也等于好大一份人类的快乐。每一个喜爱的表示，一个接一个地释放出来，使我意识到我的朋友和熟人的爱有多么深，我在以前不曾有如此深刻的感受。

——From Les Prix Nobel en 1965[Nobel Foundation]，Stockholm, 1966

见鬼去，假如我能跟普通人解释它，它也不配得诺贝尔奖啊。

——*People*, July 22, 1985

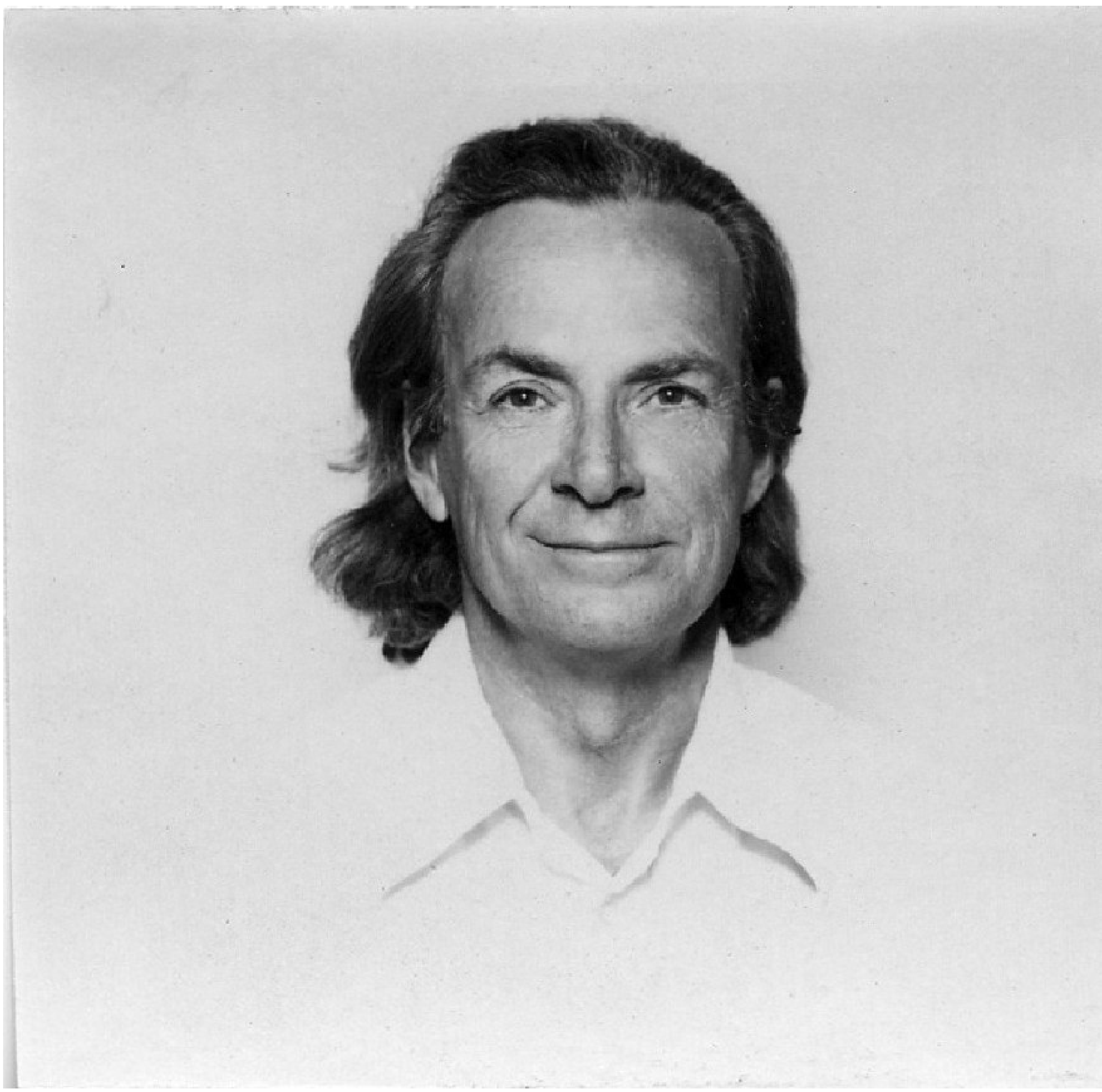
[下半夜被吵醒，得知得了诺贝尔奖之后，他对一位记者说]这一小时真是见鬼了。他们本可以在上午找我嘛。

——California Tech, Caltech student newspaper, October 1965

是啊，“给我们一句名人名言”确实是他们想说的话。我琢磨不出一种说名人名言的方法。我逐渐搞出了一个方法，但那太晚了——说我一直研究放射和物质的相互作用。那听起来不错，但等于什么也没说。

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

Worldview
世界观



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

第一原则是你一定不可自我愚弄，而你是那个最容易遭到愚弄的人。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 212；*Classic Feynman*, p.494

然而，聪明是相对的。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 4, October 6, 1961

你总是对你自己说：“我能做那个，但我不想做。”那是你做不了的另一种说法嘛。

——*Surely You’re Joking, Mr. Feynman*！, p.68；*Classic Feynman*, p.79

知道东西的名字，和知道东西，这两者的不同，我很早就明白。

——*What Do You Care What Other People Think?*, p. 14；*Classic Feynman*, p.15

我相信，接受这个想法是必要的，不仅为科学，也为其他事情：承认无知，大有价值。在生活中，我们要做一个决定，我们不见得知道那决定是不是正确，这是一个事实；我们仅仅认为我们在尽力而为——那正是我们应该做的。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 248

断定什么是好思想，不靠权威。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 21）

你干吗在乎别人怎么想？

——*What Do You Care What Other People Think?*

无论我干什么，干好事或者干坏事，我都有这么一支忠诚而长久的啦啦队。知道此事，很妙啊。

——Letter to Evie Frank, December 1965

每天早晨六点，我都有这个可笑的习惯，出去慢跑（每小时6英里），跑5英里或6英里。我没琢磨这是为什么——我不知道这会不会让我感觉好些或者怎么的。我一直觉得不错，但我在开始慢跑之前也觉得不错。

——Letter to Mariela Johansen, January 1975

关于科学家怎么看爱情之类，揶揄的段子太多了。我觉得那真不算对，科学不是一桩又呆又难又冷的买卖。其实我当时相信，我现在还相信，如果运用得当，科学为你提供一种看世界的方式，看你遇到的那些事情的意义的方式，你会得到一些把握和镇定，否则事情就棘手，诸如此类。

——Interview with Charles Weiner, March 5, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

我有一种哲学，就是不为过去所做的事情后悔。只是设法记住你当时为什么做出那样的决定。

——*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 421

[谈汉斯·贝特]和大多数欧洲人一样，他是一个颇为严肃的人。这意思是他想法比较好，在啤酒会上谈学术问题是合法的嘛。我说的就是这意思。

——CERN talk, December 1965

我们活在一个仍然能有所发现的时代，幸运啊。

——*The Character of Physical Law*, p. 127

如果你认为科学是板上钉钉的——那好，那仅仅是你自己犯的一个错误。

——*The Character of Physical Law*, p. 77

对一桩神秘之事稍知一二，并不伤害其神秘性。

——*Feynman Lectures on Physics*, vol. 1，p.3

我们在这个星期尝试的是兄弟情谊，不是一种坚持七天的观点，也不简单地是一个永远要记住的概念。兄弟情义必须是一个行动日程，一个世界人民之间真正积极合作的日程。这种合作不仅是一种可喜之事；对包括你和我在内的地球芸芸众生的区区一部分的生存，也是必要的。

——Notes from before Los Alamos

关于旧时的记忆有多么可靠，我很好奇；当我们回顾旧事的时候，我想知道有多少是我们在自己心里杜撰的。我们记得的事情，或许就是我们乐意说的事情。

——Letter to Dr. Judah Cahn, March 1983（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 362）

有某种事情能深深地打动我，此事非常怪异：我猜想，每个人在脑袋里转悠什么东西，或许大大不同。

——BBC“Fun to Imagine” television series, 1983

一个人撒手人寰，我跟大家一样悲哀；人生人死，为全部人类的生命平添了意味与兴趣。

——In a telegram to Dr. Aage Bohr, regarding the death of Dr.Neils Bohr

假设有某种大灾变，全部科学知识都要被毁灭，只有一句话劫后余生，传给后代；这句话用最少的词包含最多的信息，最好的这句话怎么说？我相信，那就是原子假说，或原子事实，或无论你怎么个叫法，即全部东西都是由原子构成的，原子是到处乱转的小粒子，一直在动，有所分离就互相吸引，挤压一处就互相排斥。在那个独一无二的句子中，稍事想象和思考，你就会看到关于世界的巨量信息。

——Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*, Lecture 1, September 26, 1961

值得对付的问题，是那些你真能解决或者能搭把手的问题，是那些你真能有所贡献的问题。如果问题摆在我们面前未被解决，我们又看得出钻研它的门道，那就是科学上的大问题。我建议你姿态更低，或者如你所说的，姿态更卑微，直到你发现了某种你确实容易解决的问题，不管那问题有多么琐屑。你会得到成功的愉快，也为对你的同事有帮助而愉快，即便你仅仅回答了能力不如你的一位同事心里的问题。

——Letter to Koichi Mano, February 1966（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 198）

如果你看得对劲，世界就是一大堆乱颤的东西。

——BBC“Fun to Imagine！” television series, 1983

我正在努力搞出清晰性，清晰性确实是一种不很肯定却也深思熟虑的、宛如图画的、半视觉的东西。

——Quoted in James Gleick, *Genius*：*The Life and Science of Richard Feynman*，1992，p. 244

不同文明的那些伟大的时代，其特点是人们对成功具有极大的信心，他们相信自己有某种不同以往的新东西，他们确信单凭自己就能搞出那种新东西。

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

颇可肯定的是，许多东西是继承来的，但在对这些事情还很少知识的今天，断言存在一个货真价实的犹太民族，或者存在确定而特殊的犹太遗传特性，却是邪恶而危险的。

——Letter to Tina Levitan, February 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 235）

为了说好话，就选取一些特殊品质，据说那来自犹太人的一些遗传特性，这就为关于种族优越论的全部胡说八道打开了大门。这种理论观点，被希特勒利用了。你肯定不能一方面断言某些可贵品质能够在“犹太人”那里得到遗传，同时又否认另外一些令人觉得讨厌或者更坏的品质不会被同样的“犹太人”继承。

——Letter to Tina Levitan, February 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 235）

反犹太主义是错误的，这不是说犹太人真的完全不坏，而在于邪恶、愚蠢和粗鲁并非犹太人的专利，而是全人类的普遍品性。

——Letter to Tina Levitan, February 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 235）

[在参加原子弹研制之后，谈他的精神健康]我看到人们在建造大桥，我会说：“他们不明白啊。”我确实相信制造任何东西都没有意思，因为那反正很快就会被毁灭殆尽，但大家不明白那个。对我看到的任何建设场面，我都有这种非常奇怪的看法。我总是想，他们居然想造什么东西，那有多么蠢啊。因此，我确实处于一种抑郁状态中。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 11

亲犹太主义是错误的，这不是说犹太人或者犹太传统真的不好，毋

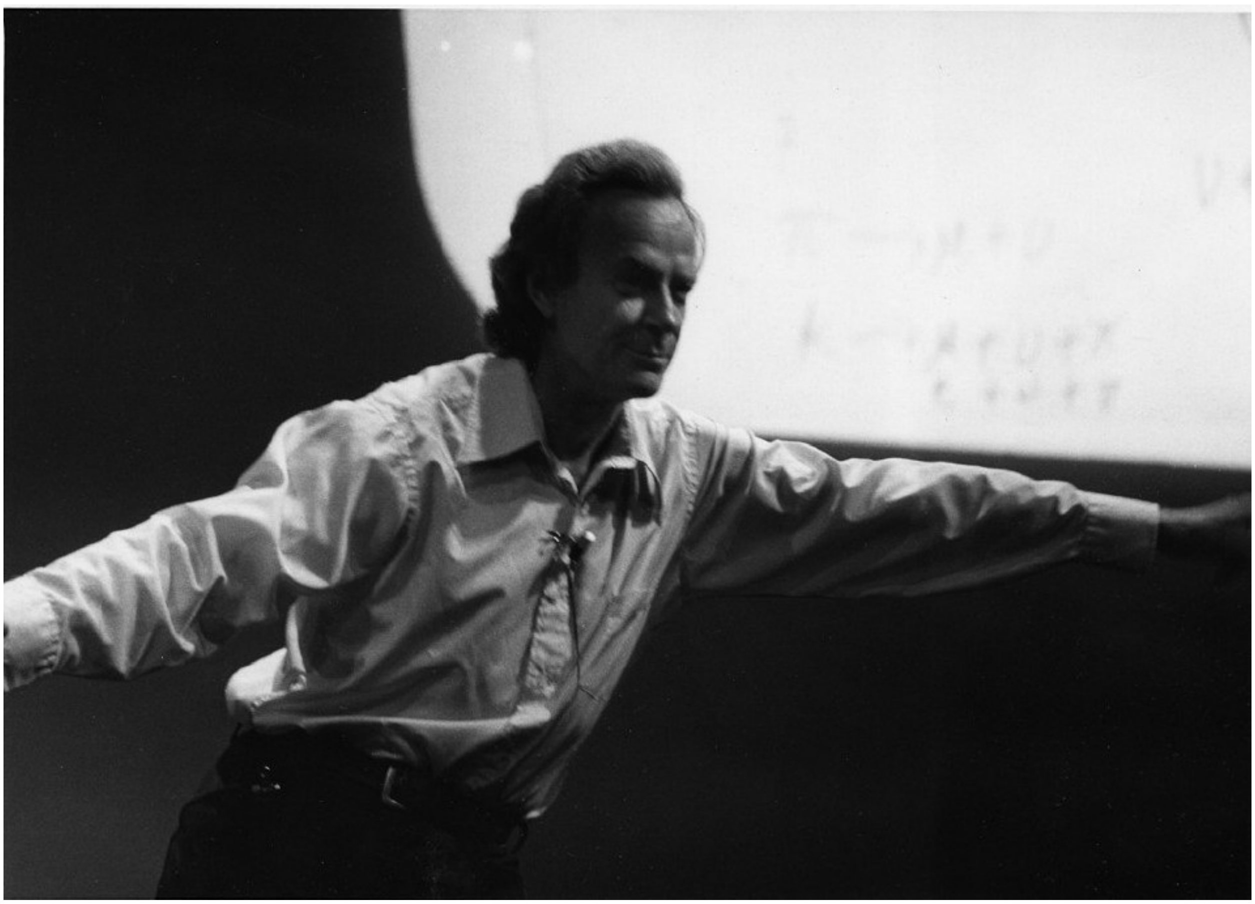
宁说它错就错在聪明、善良与和气并非犹太人的专利，谢天谢地，而是全人类的普遍品性。

——Letter to Tina Levitan, February 1967（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 235）

对我的那些故事，我的两个孩子的反应非常不同，那是不是因为一个是男孩而另一个是女孩，这个我不知道。我认为人是非常不同的；如果我有两个儿子，他们的反应也会不同——或许吧。

——Letter to Dorothy Weeks, February 1983（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 358）

The Future
未来



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

为什么要完全重复这个？因为日日夜夜，新人辈出，因为人类历史发展出了非常伟大的思想；除非有目的地、清晰地代代相传，那些思想是传不下来的。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 4）

如果我们困在某个地方，历史就在这个地方不想重复自己了。这把事情搞得更加令人兴奋，因为我们看无论什么东西——方法和门道，事情看起来都非常不同于我们以往见过的任何东西，因为我们已经用过以前的全部方法。

——Yorkshire Television interview, “Take the World from Another Point of View”，1972

如果我们认为往昔是漫长的时间，未来似乎就更加漫长得不可思议。

——From notes for “About Time” program, 1957

我们总可对别人说：“你真是很聪明啊，你解释了世界为什么必得恰恰是这个样子，我们迄今发现它就是这个样子。但是，明天世界会是什么样子？”我们的哲学活力，来自这么一个事实：我们仍然在挣扎。

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

基础物理学，寿命有限。它还会活一段时间。在目前这一刻，它还在高歌猛进，我也不想抽身而退；但是，我是沾了如下这个事实的光：我活得恰逢其时。

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

我们喜欢改善生产，但我们在自动化方面有麻烦。我们为医学的发展而沾沾自喜，然后我们就为生孩子太多而忧虑，也为没有人死于我们已经消灭了的那些疾病这个事实而忧虑。另一方面，有了关于细菌的相同的知识，我们有秘密实验室，人们不遗余力地工作，却是为培养出一些疾病，别人都找不到治疗方法。我们为航空运输的发展而沾沾自喜，大型飞机让我们叹为观止，但是我们也意识到空战的极度恐怖。我们为国际通信的能力而高兴，然后我们就担心这个事实：我们胡乱打探私

事，也非常容易。我们如今可上九天揽月，我们为这个事实而兴奋；嗨，我们在这个方面无疑也会有麻烦。在如此这般的事情当中，最有名的当然是核能的发展，及其明显的问题。

——“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 6）

我们活在今日，而人类种族的历史才刚刚开始。以往有千千万万年，未来的时间有多少，不为人知。存在各种各样的机会，存在各种各样的危险。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 56）

从人类历史的长远眼光来看，比方说从一万年以后来看，19世纪最重要的事件，我们断定是麦克斯韦发现了电动力学的那些规律，可以说是无可怀疑的。与在相同的十年内发生的这件重要的科学事件相比，美国内战黯然失色，沦为本乡本土的鸡毛蒜皮。

——*Feynman Lectures on Physics*, p. 1—11

要回答你的问题（我认为核能是对人类的诅咒，还是对人类的拯救），我很抱歉，我只能说我真不知道。展望未来，我没有希望，也没有恐惧；我只是拿不准将来会是怎样。

——Letter to Dr. David A.Marcus, February 1975（*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p. 279）

我希望未来的世代有自由，自由地怀疑、发展；自由地继续冒险去发现做事情、解决问题的新方法。

——“The Uncertainty of Values”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*, p. 56）

我们仅仅处在人类发展的开端上；关于人类的发展，关于心智生活的发展，我们在未来有许多、许多年。关于事情会是怎样，我们今天的责任不是回答这个问题，不是把每个人都驱赶到那个方向上，说“这是解决一切问题的方法”。因为我们会受到羁绊，我们目前的想象力还有限。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

我们正处于人类发展的开端。我们与许多麻烦纠缠，这并非没有道理。但是，未来有千千万万年。我们的责任是做力所能及之事，了解力所能及之事，改善解决方法，并传给后来人。

——*The Pleasure of Finding Things Out*, p. 149；*Classic Feynman*, p.489；*What Do You Care What Other People Think?*, pp.247—248

我常常做这个假设：物理学最终将不需要数学陈述，到末了机制将昭然若揭，定律将会简单，好像跳棋盘，上面的复杂细节都明明白白。

——*The Character of Physical Law*, pp. 57—58

往昔的人，活在其时代的恶梦里，对未来也有梦想。既然他们的未来已在今天实现，我们在许多方面看到，今天超过了他们的梦想，但我们今天在更多的方面有很多梦想，那在很大程度上是往昔的梦想。

——Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964

因此有很多事情从一门科学跑到了另一门科学中，最重要的是这种越界是科学的性格，批判性的性格。事情在很大、很大程度上是相同的。污垢之源与错误之源，实际上不同，但你仍然能明白这么一个想法：某个念头，有意思，还是没有意思？

——Interview with Charles Weiner, June 28, 1966（Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics）

未来总不确定。未来，有吗？

——Notes

有不多的年轻人，希望当理论物理学家的年轻人，他们意气风发，采取这种态度：“那些家伙，长年累月地不知道自己在谈些什么鬼话，他们连最简单的问题都解决不了。我将让他们瞧瞧，事情应该怎么办。”后生可畏，那可能会发生。

——Caltech lecture on particles, 1973

我曾有一本谈微积分的书，书上说：“一个傻子能干出的事情，另一个傻子也干得出。”我们关于自然能琢磨出的东西，对不曾研究过自然的人而言，或许显得抽象而可怕，但那是傻子干出的事；在下一代，全部傻瓜都会理解它。

——*Omni* interview, February 1979

每一代从经验中有所发现，必须传之后世，但要传下去，必须在尊重与不敬之间有一种微妙的平衡，如此一来人类如今意识到自己趋向于得的那种病，就不会过分厉害地折磨年轻一代，但这确实能把积累起来的智慧传下去，外加那些或许不算智慧的智慧。

——National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, “*What Is Science?*”，April 1966

如果一个人穿过一座建筑物，从一边走到另一边，还是没有走到门口，他或许会吵起来：“看，我们穿过了这座建筑物，我们还没有走到门口；因此，另一边没有门。”在我看来，我们穿过了建筑物，事情似

乎是我们不知道那是一座无限的建筑物，还是一座有限的建筑物，因此仍然有这么一个可能性：有一个最终的解决办法。有一件事会发生，我想：如果一个最终的解决办法被发现了，那在科学哲学中是一个退化。

——MIT centennial, “Talk of Our Times”, December 1961

我的儿子也像是那样，虽然他比我在他那么大的时候的兴趣更广得多。他对魔术、对计算机编程、对早期教会史、对拓扑学感兴趣——哦，他难过的日子来了，有趣的东西太多了啊。

——*Omni* interview, February 1979

Honoring Richard Feynman
颂扬理查德·费曼



米歇尔·费曼与卡尔·费曼提供照片

他有他那一代人中最别出心裁的头脑。

——Freeman Dyson of the Institute for Advanced Study in Princeton, *New York Times*, February 17, 1988

他是他的时代最有创造力的理论物理学家，一位真正的天才。他以其独一无二的创造力，触及物理学的每个领域。

——Sidney D. Drell, former president of the American Physical Society, *New York Times*, February 17, 1988

在科学中，与人类事业的其他领域一样，有两种天才：“普通天才”和“魔法天才”。一个普通天才，是你和我都配当的那么一个伙计。普通天才的头脑是怎么运作的，没有什么神秘之处。一旦我们理解了他完成的事情，我们感觉我们肯定也能办得了。魔法天才与此不同……即便在我们理解他们做好的事情之后，那仍然是一片漆黑……理查德·费曼是才干最高的魔法师。

——Marc Kac, *Enigmas of Chance*, p. xxv

斯诺（C.P.Snow）如此描绘费曼：“宛如电影演员格劳乔·马克斯（Groucho Marx）出演的一位大科学家。”

——“The Cult of Richard Feynman”，*Los Angeles Times*, February 2, 2001，quoted *in Lectures on Computation*, ed. Tony Hey

我会扔下一切，去听他讲城市排污系统的讲座。

——David Mermin of Cornell, cited in Lectures on Computation, ed. Tony Hey

费曼有意识地努力从一个不同而有利的观点看问题。那是故意的。

——Tom Tombrello, Caltech oral history, interview by Heidi Aspaturian, p. 62

我在想如何衡量费曼有多么聪明，因为那不是任何标准种类的聪明。正是这种另眼看世界的方式，他才努力达到目的。我认为他在那上面干得确实卖力，也以多种神奇的方式取得了成功。

——Tom Tombrello, Caltech oral history, interview by Heidi Aspaturian, p. 62

哈，费曼重新发明了这个轮子，但结果那变成了一个好得多的轮子。

——Valentine L. Telegdi, Caltech oral history, interview by Sara Lippincott, p.28

费曼并非理论家所说的那种理论家，而是物理学家所说的那种物理学家，是老师的老师。

——Valentine L. Telegdi, *Most of the Good Stuff*, p.162；*also in Physics Today*, February 1989

他是第二个狄拉克，只有这次他算是俗人。

——Eugene Wigner, quoted by Robert Oppenheimer in a letter to Professor Raymond Birge, University of California—Berkeley, 1943

一个诚实的人，我们时代杰出的直觉主义者，是任何敢于敲击不同鼓点的人的一个现成的最佳榜样。

——Julian Schwinger, in his obituary of Feynman, Physics Today, February 1989

我对费曼略知一二，我会说费曼在一天里能干的事，我一百个约翰·莱登永远干不了，永远。

——John Rigden, 2003，interview with Dr. Dudley Hershbach, American Institute of Physics

他名声很大啊。他已经被呼为普林斯顿的那个非常聪明的家伙，什么都知道。他也确实什么都知道，你知道的。他确实为我们解决了一些问题，实话实说嘛。

——Philip Morrison, 1967，interview with Charles Weiner, American Institute of Physics

你可以和费曼说话，他的回答是精确的，是一个实验物理学家能理解的那种回答，起码他认为能理解。

——Carl Anderson, 1979，interview by Harriett Lyle, California Institute of Technology Archives

费曼面临一个数学问题时非常有直觉力。他会找到解决那个问题的方法，或者证明他猜测的某种东西是真的。这些路数颇有独创性，数学圈子通常认为那完全离经叛道。但那管用。他对数学理解得足够好，足以发明内在正确的新数学。他在此不曾犯错误；他居然就搞出了别出心裁的办法，去做那些与他的经验相符合的事情；成就的结果，别人有时候要理解是怎么办成的，着实费思虑。

——Charles A. Barnes, interview with Heidi Aspaturian, session 4, Caltech Oral History Archives, July—August 1987

在到瑞典领诺贝尔奖之前，他在校园里的卡伯特森（Culbertson）小剧场——以前是在校园里——为当地人讲了一堂绝对精彩的课。那是一个漂亮的小建筑，我猜能装两三百人。我们心醉神迷，听费曼非常清楚而特别谦虚地解释，那是典型的理查德·费曼式的说明，他怎么走到这一地步，最终应邀到瑞典去领诺贝尔奖。他解释说，他有此造诣，能够为量子电动力学阐发规律，方法是钻研别人向他提出的每个非常难的量子电动力学问题。

——Charles A. Barnes, interview with Heidi Aspaturian, session 4, Caltech Oral History Archives, July—August 1987

但是，无论费曼到哪儿讨论标准理论的那些难题，他都请大家挖掘他们解决不了的问题，或者用难得不可思议的方法来解决的问题。对他特别有用的东西，是那些别人已经解决了的问题，仅仅是解决起来太难了。借助于考察这些问题，他用自己的方法来解决难题，费曼发展出了

他自己的一套规律。

——Charles A. Barnes, interview with Heidi Aspaturian, session 4, Caltech Oral History Archives, July—August 1987

我记得理查德·费曼说："我永远琢磨不透其他伙计们正在做的事情，因此我用我自己的方法去做。"你知道，那使费曼全然与众不同。

——Thomas A. Tombrello, interview with Heidi Aspaturian, session 3, Caltech Oral History Archives, December 26—31, 2010

加州理工学院货真价实的最别出心裁的人。

——Thomas A. Tombrello, interview with Heidi Aspaturian, session 6, Caltech Oral History Archives, December 26—31, 2010

有了费曼，就有费曼效应。那就像中国饭店效应——饭后十分钟，你又饿了。有了费曼，课就讲得清清楚楚，你都不用记录。课后五分钟，你却不能复述课程！我记得马特·桑德斯和莱顿，大家都像那样，在上大一的物理课上记费曼讲课的笔记。他们常常意识到，在讲完之后，他们不能重述讲的东西。他们为板书拍照片。他们为费曼录音。还是那样，还有某种东西不可捉摸。我不是说费曼讲错了或者讲得不完整。他讲得微妙。你意识不到那种微妙，因为它如行云流水，讲得非常漂亮。那是一件艺术品。但你得一直意识到这个事实：因为费曼把事情搞得似乎如此简单，你就错过了关键的东西。费曼效应，非常有趣啊。

——Thomas A. Tombrello, interview with Heidi Aspaturian, session 6, Caltech Oral History Archives, December 26—31, 2010

我与费曼有一种非常奇怪的交往。我们正讨论着什么事情，他对我说："如果我对此事绝无所知，我就不说我对此事有所知。"这意思说得非常友好。那不会得罪你。

——Samuel Epstein, interview with Carol Bugé，session 3, Caltech Oral History Archives, December 19 and 26, 1985，and January 10, 1986

他和你谈话时让你觉得他迷人而机智，你突然觉得你能研究高水平的物理学。他是一位奇妙的聆听者。

——Jenijoy La Belle, interview with Heidi Aspaturian, session 3, Caltech History Archives, February—May 2008, April 2009

学生尊他为加州理工学院的守护神，他当之无愧。

——Steven C. Frautschi, interview with Shirley T.Cohen, session 1, Caltech History Archives, June 17, 2003

我记得费曼的故事。他们叫他来，说：“你得了爱因斯坦奖。”他说：“哦，那是什么东西？”他们说：“那个，你得了15000美元。你不得说点什么吗？”他说：“热狗！”

——Seymour Benzer, interview with Heidi Aspaturian, session 11, Caltech Oral History Archives, September 11, 1990—February 1991

我不很了解费曼。我也很了解他，可以喊他昵称，但那就是全部；我们交往不多。我说：“迪克，星系的核心有什么特别之处？为什么我们应该把某种东西视为核心那个样子？那有什么特殊之处吗？”他站在那儿，低头看这个（放在地板上的图）。他说：“那就是上帝的住处。”

——James A. Westphal, interview with Shirley K.Cohen, session 3, Caltech Oral History Archives, July 8—29, 1998

他对我影响巨大，不仅在学术上，也在寻求真理的意义上。驱使着他的全部这些深藏不露的事情——不单是他多么聪明——对我的影响是很大的。

——Barry C. Barish, interview with Shirley K.Cohen, session 5, Caltech Oral History Archives, July 21, 1998

费曼更多地是一个兴高采烈的人，更多地确实是一个性格外向的人。生活对他仅仅是快乐，即便他得了全部医学上的病。他完全彻底地是一个快乐的人。

——Hans A. Bethe, interview with Judith R.Goodstein, session 1, Caltech Oral History Archives, February 17, 1982

关于费曼，让我留下印象的事情，是你可以问他问题；如果那不是一个很好的问题，他也接过来，把它转一个圈，而答案或许是一个好问题的答案。

——Alvin V. Tollenstrup, interview with David A.Valone, session 2, Caltech Oral History Archives, December 23, 1994

我当研究生的时候，没有人搞量子力学，超级的博士生另当别论。起先他们必须学哈密顿力学全部的花里胡哨，必须学各种东西，当时大家就那么想的。你必须经历全部这些五迷三道，然后你才能有希望初试量子力学……理查德·费曼，还有其他人，表明你不必经历其他那些东西。你干脆就开始谈论量子力学，孩儿们消受得了。

——David S. Wood, interview with Shirley K.Cohen, session 1, Caltech Oral History Archives, May 25, 1994

在这里，教师和学生，在很多方面是相似的。我是在战后那些日子里逐渐知道这个的，当时这里的每个人都是新的，或者是战后重返校园的。学生，从某种意义上说，当然模仿教师，因为教师是他们的榜样。理查德·费曼是最伟大的榜样。大家都喜欢他，喜欢得很有道理。

——Rodman W. Paul, interview with Carol Bugé，session 3, Caltech Oral History Archives, February 17, 1982

费曼博士讲的一堂课，确实是一道稀有的大菜。就幽默和戏剧性、悬念和兴趣而言，它常常敢跟百老汇的舞台剧比试高低。不说别的，它清晰如水，掷地有声。如果物理学是科学底层的“旋律”，那么费曼博士就是嗓音最清晰的游吟诗人。

——Irving Bengelsdorf, *Los Angeles Times* science editor, 1967

当有人得了诺贝尔奖的时候，那多半是部门的头儿有一个重大问题，他得努力笼络最好的人，以稳住他不接受其他聘用。除非，我想用费曼的例子说事儿，他说他拿定了主意；他喜欢加州理工学院，想待在那里，无论他得到多少薪水——你敢保证，他在全世界每个地方都能拿到那么多薪水。我听说，在他打电话的时候，他说：“你会告诉我你给我多少薪水吗？”如果对方说：“不会，我对那件事不感兴趣。”他就继续跟他说话；否则，他会说：“我的回答是不。”然后挂上电话。这或许是一个笑话，但我听说费曼那么做过。他是加州理工学院的一位非常忠诚的教授。

——Carl Andersen, January 30, 1979，interview with Harriett Lyle, session 7, Caltech Oral History Archives

回头看，每一件事，我今天用的全部物理学，大概有90%，我一定是从费曼那里学到的，我从来没见过任何人工作得那么快，所以我也不曾遇到像他那样的物理学家。普林斯顿大学或者牛津大学，肯定没有一个人像这样。他年少的时候就颇为随便而顽皮。他现在的随便和顽皮也不稍减。你知道，每当一个想法跳进他脑袋，货真价实地不需要五分钟或者十分钟，他就把这类事情琢磨透了。

——Robert Hellwarth, interview with Joan Bromberg, May 28, 1985, American Institute of Physics

费曼的那些了不起的事情之一，是他提起一个问题并开心地讨论，

他纵横捭阖（笑）。我记得他在麻省理工学院上学的时候玩一个把戏的快乐。学生们聚在一起，用吊车把一辆汽车放在一座建筑物的顶上，让政府去处理。他从撬保险柜得到了相同的乐趣。我认为我讲的是下面这个故事，讲的是通用电器公司的两个保险柜，保安眼睁睁看着费曼把它们打开了……我觉得，费曼的那种快乐感——他事后解释说，那么多人用常数e、π和电话号码当密码。那些数字，是他首先试的，对解决开保险柜问题具有最大的把握。

——John Wheeler, interview with Kenneth W. Ford, session 10, American Institute of Physics, March 15, 1994

我认识的人，都佩服他兴趣广泛、好奇心重、热爱生活。我们大多数人的生活面很可能比他狭窄，我们许多人有时候惋惜我们没有那么丰富的经历，没有他那么多人际关系。

——Kip Thorne, “The Cult of Richard Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*December 2, 2001，p. 16

事情按部就班地进行，但清楚的是直言不讳的人反对它。最后，费曼站起来说：“我一直在思考这件事，我认为那是一个可怕的错误。那不是加州理工。我们会发出错误信息。我认为我们应该立刻否决此事。我们是否做了错误的承诺，那无关紧要。我们仅仅是不应该干这件事。”那其实就一锤定音了——那就是决议。费曼的话，左右了那天的局面，他的话很有说服力。

——Fred Anson, reminiscing on the vote about whether to establish an army research center at Caltech, February 26, 1997，interview with Shirley Cohen, Caltech Oral History Archives

他是一个很有幽默感的主儿，改不了的。

——Childhood friend Joseph Heller, May 5, 2010，interview with Shelley Erwin, Caltech

Oral History Archives

我记得费曼以前习惯于向全班同学提问。他说：“好吧，你有一个草坪喷水器，你接上水，喷水器就旋转，同时喷出斜着的水流。现在，假设你把同一个喷水器放在游泳池里，开始让它向里吸水。喷水器还会旋转吗？”这个问题使事情大不相同——好像昼与夜的不同。像那样的事情使分离流这个范畴非常有趣……我想那是一次本科生的课，但我记不得是哪个班。在他问这个问题的时候，我在场，我就想：“啊，那是一个了不起的老师。”一个草坪喷水器——人人都天天见的东西。但是，他仅仅改变管子里水流的方向，我们必须回答会发生什么事。

——Theodore Y. Wu, February/March 2002，interview with Shirley K.Cohen, Caltech Oral History Archives

我听费曼讲数学物理学的课。甚至在读研究生的时候，我也常常跑到他每次的研讨会上听课。我完全听不懂任何数学，但他偶尔停下来说：“这意思其实是……”我就懂了。

——Carver Mead, July 17, 1996，interview with Shirley K. Cohen, Caltech Oral History Archives

他喜欢教学，不喜欢颐指气使。有一次他对我是这么说的：为了帮助研究生写毕业论文，如果他能充分而直接地阐述一个问题，他一个晚上就能做好。如果他能把一个问题搞得清清楚楚，他就忍不住自己去做。

——Robert F. Christy, June 1994，interview with Sara Lippincott, Caltech Oral History Archives

我在加州理工学院当老师那会儿，我觉得有趣的事情，是大规模的教学改革运动，是对所谓核心课程的改革。就物理学而言，我认为那在很大程度上归功于费曼。以前大家通常认为，学生必须按部就班地学冗

长无聊的经典力学，还得学得非常老练等等，然后才有希望开始了解量子力学的任何东西。费曼表明，那是不对的。你不必那么做……与我读研究生的时候相比，学生得到的学习材料和他们如今在这里学的东西，要前沿得太多。你知道，那就好像T版福特车和最新款之间的差别，或者说是莱特兄弟的飞机与波音747之间的差别。

——David S. Wood, June 1994，interview with Shirley K.Cohen, Caltech Oral History Archives

费曼发明了研究量子力学的一种全新的方法，费曼图不是从他跟数学家们的接触中产生的；其实，费曼产生了新东西。他有时候说，数学家其实帮忙不大。他对加利福尼亚州学校的数学教学法非常愤怒。他曾经在委员会之类的组织里，为州长之类的人评价教材。因此你知道，整个事情天翻地覆了。

——William A. Fowler, May 1983/May 1984, John Greenberg and Carol Bugé，Caltech Oral History Archives

我曾经跟费曼讨论过这个问题。在美国，他或许是最理解物理学的这个方面的物理学家。他就有这种态度，要看看事情是否正确。但是，我们讨论这个，他说："那个，在如今的年轻一代中，很少有人害怕发表包含矛盾的东西。"实际上没有人怕这个，因为他会说："那么其他伙计很快就批评我，他们会说，'你有矛盾，你一定错了'。"但是，然后就说："好吧，我知道我必定错了；肯定会有一个矛盾，但去它的，我看得出来那是对的。"现在，你当然又可以说那是一种非常滑稽的态度。你怎么知道呢？你不能证明；那包含矛盾。

——Werner Heisenberg, February 13, 1963，interview with Thomas S. Kuhn, American Institute of Physics

[谈费曼的幽默]我和费曼人格的这个方面没有什么争吵；和其他大

多数人一样，我发现他令人愉快。但是，那漏掉了太多的东西：不仅是他的科学天才，还有他对自然的深爱，他对教学的激情，以及最重要的是他高标准的人格正直。在最高水平的创造中，这种正直不总是有……费曼会拿其他无论什么事情开玩笑，他对物理学的热爱令人敬畏。

——Laurie M. Brown, February 1989，*Physics Today*

在英国电视上，我见过他；此前多年，我不知道费曼是什么人，只知道是一个美国教授，那可能是戏剧家亚瑟·米勒杜撰出来的吧，以便演出那什么——那个，反物质的独角戏。我对反物质也没有特别的兴趣，没有背景，没有看法，但那种东西被搞得神秘兮兮，引人入胜。后来根据他的谈话录音出版的回忆录《别逗了，费曼先生！》，他的人格呼之欲出。这位物理学家不是教研室的人，而是沙龙的人。

——Tom Stoppard, “Stage View”，*New York Times*, November 27, 1994

我记得我第一次见到费曼的时候，是四十五年前的仅仅几个小时。他在去新墨西哥州的路上，我期望他顺路到曼哈顿区的芝加哥实验室看看。大概六位理论物理学家一起跟他见面。早在普林斯顿的时候，他就名声在外了。一两个人给他看很难的积分，希望他解得出来，有点像请来访的壮汉活动一下锈住的铁门。他的表现正如所料，但并不像他对节奏、对世界上能够鼓捣出来的难题的那种痴迷劲儿。但是，后来，那是在洛斯阿拉莫斯及其周围，我们在科内尔共用一个旧办公室，我看得清楚了，我就开始喜欢他那种别出心裁的、达观的、诚恳的、顽皮的性格，以及他一辈子都像在跳舞的那种精神。

——Philip Morrison, personal letter of condolence, February 1988

费曼对物理学的贡献，对我们的研究工作的冲击是非同一般的：他对量子力学的开拓，他发明的关于量子场论的路径积分构想，他对弱相互作用力的重要贡献，他为深奥的非弹性电子—质子散射发明的部分子

模型，他对高能碰撞的性质的真知灼见，这导致对夸克和胶子物质结构的揭示。他的研究其实触及物理学的每个领域。

费曼以卓越的人格教导我们：物理学不仅是深刻的也是直觉而可理解的。他为国家的服务，他在“挑战者号”航天飞机事故调查过程中表现出的勇气，我们也为之骄傲。对科学和社会有更大影响的科学家是很少的。对他的纪念，是我们的财富。

——The SLAC（Stanford Linear Accelerator Center）Theoretical Physics Group, personal letter of condolence, February 19, 1988

我认识费曼二十载。他是每星期三实验室里的主讲，是批评家，是顾问，而且平易近人；他是伟大的感召、伟大的心灵、伟大的精神。他常常表现出最大的耐心与亲切，把一个天真但无知的问题，或者把一个愚蠢的问题，变为一个内容丰富而精彩的问题，免得提问者尴尬。他卓越的幽默感不下于他卓越的智力。这一代和未来世代的物理学家和全部受教育的人，将永远记得他。

——Bernard Soffer, Hughes Aircraft Company Research Laboratories, personal letter of condolence, February 19, 1988

费曼的人格，何其活泼而多彩。他有很大的学习热情。众所周知他是世界上最了不起的物理学家和创造性的思想家之一，但他关心的是把科学搞得让别人也懂，也觉得引人入胜，真就把他搞成了加州理工学院最杰出和受欢迎的老师。在解释最难懂的概念的时候，他是最有创造力的，普通人都能懂。费曼的故事在这里脍炙人口，是传奇。

——Sunney I. Chan, Chairman of the Faculty, California Institute of Technology, personal letter of condolence, February 23, 1988.

有几位“叔叔”丰富了我的童年，费曼是最棒最好的。在康奈尔大学期间，他是我们家的常客，总是受欢迎。我可以指望他从与我父母和其

他成年人的谈话中抽出时间，对孩子们予以足够的注意。他曾经和我们玩游戏，玩得很棒；他也是一位很棒的老师，让我们睁开眼看周围的世界。

——Henry Bethe, personal letter of condolence February 17, 1988

Acknowledgments
鸣谢

有许多帮忙的人，需要感谢他们。

首先，我的两位研究者令人惊叹——安妮莎·库克（Anisha Cook）和詹娜·文博格（Janna Wennberg）。为成此书，有你们相助，我非常幸运。我发现，没有你们两位和你们辛勤的工作，我要完成此事，则不可想象。谢谢你们的努力。

我的朋友格里高利·菲尔德米斯（Gregory Feldmeth），助理主任和理工学院的资深历史教师，他对我的工作那种最诚恳的评价，我可以总是信赖。我实在看重他不知疲倦的努力，帮助我成就此书。他审慎地检查引语的分类，帮助删除重复的引语，这项工作颇为费事，他还帮助我制作了一份我父亲的大事年表。有他的建议，有他作伴，我很感谢。在帮助处理前言的时候，理工学院的英语老师格瑞丝·哈密尔顿（Grace Hamilton）非常慷慨地花费时间和专业技巧。另外一位朋友，理工学院的物理学和计算机科学的老师理查德·怀特（Richard White）无比非凡，推荐詹娜和安妮莎这个不知停息的二人团队，并贡献他的建议与专业技巧。为什么这三位老师深受学生喜爱，我能明白了。

莱斯利·卡米尔（Leslie Carmell），理工学院的交流主任，与他工作，宛如美梦。他一直大力支持我，我非常感谢她尖锐的眼光和一贯的真知灼见。我的同事们不同凡响——詹妮弗·闵托（Jennifer Godwin Minto）、芭芭拉·玻尔（Barbara Bohr）、约翰·严（John Yen），以及理工学院的一群才华横溢的老师和员工。我在此工作，三生有幸。

米兰妮·杰克逊（Melanie Jackson），我很高兴有像你这样一位有趣、聪明而和善的文学代理支持我。

谢谢我的哥哥卡尔·费曼，感谢他相信我能完成这个任务。

拉尔夫·莱顿（Ralph Leighton）助人为乐，用电子邮件发给我《费曼物理学讲义》的音频文件，是他把录音数字化了；他也提出了非常有益的主意和建议。克里斯多夫·赛克斯（Christopher Sykes），对各种引语来源的见解和知识，令人耳目一新。加州理工学院的亚当·科克伦（Adam Cochran）帮助我与加州理工学院联系——从取得许可，到帮助我联系有关人士，工作细致而高效。加州理工学院档案馆的雪莱·欧文（Shelley Erwin）和娄玛（Loma Karklins）也完全一样。谢谢你们的知识与帮助。托尼·黑（Tony Hey）非常好心，翻遍了他的个人存档，扫描了一份座谈副本，那是很难找到的。安·柔（Ann Rho）是加州理工学院的资深发展主任，热心相助，与她切磋想法最合适。亚兰·阿尔达（Alan Alda），谢谢你的友情和支持。我感谢基普·索恩（Kip Thorne）的指导，否则我根本接触不到布莱恩·科克斯（Brian Cox）！

英国粒子物理学家布莱恩·科克斯有一本关于我父亲的通信风格的回忆录，我很高兴他同意为本书写一个前言。

马友友是我家的老朋友，他为人和善。在马友友的音乐会之后，我父亲和我常常到他后台凑热闹，或者和他一起吃晚饭（这个传统还在继续，如今是我和我的孩子一起去）。在我父亲去世之后，马友友为他献出了一系列音乐会。我拿不准为什么我觉得麻烦一位职业大提琴家为本书写点什么是一个好主意，但我有印象：他不会推辞这个挑战。

我最近几年一直不容易，我越来越感激（有时候也依赖）我的那些非常了不起的朋友。要列举，那名单似乎很长，我只好悲哀地不能感谢在最近几年对我帮助如此之大的所有人。我是一群有趣的人中的一员，

我很有福。我要感谢米甘·福克（Megan Foker）——我不知道没有她，我会怎样。在我一生的一段极富挑战的日子里，她一直帮助我，而且她的做法幽默、优雅而平静，使我比较容易地保持平衡。人人都需要米甘那样的朋友。我看重里克·福克（Rick Foker）对他家人的帮助，如此一来米甘就能在我这里花费时间。我非常高兴我的圈子里有这些人：西瑟尔与汤姆·安特瑟赫（Heather and Tom Unterseher）、车瑞尔·保罗·文博格（Cheryl Wold and Paul Wennberg）、厄乐克特拉与彼得·朗（Electra and Peter Lang）、珍妮·卡克泽马瑞克（Jane Kaczmarek）、斯塔西与迈克尔·伯格（Stacy and Michael Berger）、戴安妮·迪·罗莎瑞欧—哈斯提德与克里斯·哈斯提德（Dyanne di Rosario-Halsted and Chris Halsted）、蒂姆·哈特利与詹森·里昂（Tim Hartley and Jason Lyon）、蒂凡尼与马克·哈里斯（Tiffany and Marc Harris）、马里奥·米拉勒斯与布伦达·波克（Mario Miralles and Brenda Bork）、拉尔夫·莱顿与菲比·克宛（Ralph Leighton and Phoebe Kwan）、斯科特·李与卡伦·王（Scott Lee and Karen Wong）、弗朗西斯科·米拉勒斯（Francisco Miralles）、苏珊·布莱斯德尔（Susan Blaisdell）、多拉西·皮斯查拉（Dorothy Pieschala）、卡尔与保拉·费曼（Carl and Paula Feynman）、查尔斯·赫斯伯格与埃里森·阿德勒（Charles Hirshberg and Alison Adler），以及琼·费曼（Joan Feynman）。你们是我的支持团队。你们的友谊、爱和支持，让我积年累月也精神振奋。约翰·莫罗乌斯基（John Murlowski），你宛如及时雨来到我身边，知道如何帮助我和支持我。

最后，我要感谢我的孩子们艾娃与马可·米拉勒斯（Ava and Marco Miralles），感谢他们精彩的想法、迅速发展起来的独立性，以及对出版此书一贯的支持态度。

Sources
资料出处

Audio recording of *Feynman Lectures on Physics*，1961

《费曼物理学讲义》录音，1961年

Audio recording of lecture on relativity, Douglas Advanced Research Laboratory, 1967

讲相对论录音，道格拉斯高等研究实验室，1967年

BBC“Fun to Imagine！” television series, 1983

BBC“想象之趣”，电视系列，1983年

BBC interview on the gauge theories, “A Novel Force in Nature”

BBC关于测量理论的采访：“一种新的自然力”

BBC interview, “Beyond Present Theories”

BBC采访：“突破现有理论”

BBC interview, “Scientifically Speaking”, April 1976

BBC采访：“从科学观点说”，1976年4月

BBC, “Horizon：The Hunting of the Quark”, May 1974

BBC：“地平线：猎捕夸克”，1974年5月

BBC, “Pleasure of Finding Things Out”；Swedish television interview on Nobel Prize winners, 1965

BBC：“发现的乐趣”；瑞典电视台采访诺贝尔奖得主，1965年

California Institute of Technology Archives

加州理工学院档案

California Tech, Caltech student newspaper, October 1965

加州理工学院学生报纸，1965年10月

Caltech lecture on particles, 1973

加州理工学院课程，关于粒子，1973年

Caltech Oral History Archives

加州理工学院口述历史档案

“Cargo Cult Science”, Caltech commencement address, 1974

“野狐禅科学”，加州理工学院毕业典礼演讲，1974年

“Current Algebras and Strong Interactions”，1967

“当前的几何学与强相互作用”，1967年

CERN talk, December 1965

在欧洲核子研究所的讲话，1965年12月

Chamber of Commerce Outstanding Citizen Award acceptance speech

商会杰出公民奖领奖演说

Character of Physical Law

《物理定律的本性》

Columbia Dispatch, October 22, 1966

《哥伦比亚通信》，1966年10月22日

Correspondence

通信

Dirac Memorial Lectures, “The Reason for Antiparticles”，1986

狄拉克纪念讲座：“反粒子存在的理由”，1986年

Enigmas of Chance

《概率之谜》

Esalen lecture, “Quantum Mechanical View of Reality”, October 1984

伊萨伦讲座：“量子力学的实在观”，1984年10月

Feynman Lectures on Gravitation

《费曼讲引力》

Feynman Lectures on Physics

《费曼物理学讲义》

“Feynman Takes NASA to Task”，*Pasadena Star News*, June 11, 1986

“费曼让NASA有所担当”，《帕萨迪纳星报》，1986年6月11日

“Feynman：Frustrated by the Slow Pace of Probe”，*Pasadena Star News*, January 29, 1989

“费曼：调查缓慢，令人沮丧”，《帕萨迪纳星报》，1989年1月29日

“Future for Science” interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

“科学的未来”访谈（《发现的乐趣》）

Future for Science interview（*The Pleasure of Finding Things Out*）

科学的未来访谈（《发现的乐趣》）

Galileo Symposium, “What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society”, September 1964，*The Pleasure of Finding Things Out*

伽利略座谈会，“科学文化在现代社会的角色是什么以及应该是什么”，1964年9月，《发现的乐趣》

Great American Scientists

《美国的大科学家》

In personal notes

个人笔记

Interview with Yorkshire Television program, “Take the World from Another Point of View”，1972

约克郡电视台采访节目：“从另一个观点看世界”，1972年

“It’s as Simple as One, Two, Three” interview, December 1978

“就像一、二、三那么简单”访谈，1978年12月

“Joy of the Chase”，*The Daily Telegraph*, July 5, 1988

“追逐之乐”，《每日电讯报》，1988年7月5日

Lectures on Computation, ed. Tony Hey

《费曼讲计算》

Letter to

致函

“New Mathematics”, written for the California State Department of Education, 1965；*Engineering and Science*, p. 13, March 1965；*Perfectly Reasonable Deviations from the Beaten Track*, p.453

“新数学”，写给加州教育部，1965年；《工程与科学》，第13页，1965年3月；《费曼手札》，第453页

“New Textbooks for the‘New’Mathematics”，*Engineering and Science*28，no. 6（March 1965）

"'新'数学的新课本"，《工程与科学》第28期，第6号（1965年3月）

"Mass Varying with Position"，*Physics*230, 1987（R. P.Feynman Papers, California Institute of Technology Archives）

"位置不同，质量不同"，《物理学》第230期，1987年（费曼论文，加州理工学院档案）

"Mr. Feynman Goes to Washington"，1987

"费曼先生到华盛顿"，1987年

National Science Teachers Association Fourteenth Convention lecture, "What Is Science?"，April 1966

全国科学教师协会第十四次会议讲座，"什么是科学？"，1966年4月

Niels Bohr Library and Archives with the Center for the History of Physics

尼尔斯·玻尔图书馆与档案，物理学史中心

"900 at Caltech, JPL Declare Support for Nuclear Arms Freeze"，*The Los Angeles Times*, October 16, 1982

"加州理工学院及喷气推进实验室900学人宣布支持核军备冻结"，《洛杉矶时报》

No Ordinary Genius

《不平凡的天才》

Nobel Lectures, Physics 1963—1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

《诺贝尔演讲，物理学，1963—1970年》，埃尔塞维尔科学出版社，1972年

“Nobel Prize：Another Side of the Medal”，*The Los Angeles Times*, October 7, 1983

“诺贝尔奖：奖章的另一面”，《洛杉矶时报》，1983年10月7日

Notes for a commencement speech

某次毕业典礼演说笔记

Notes for “About Time” program, 1957

“关于时间”项目的笔记，1957年

Notes for talk on “Science in America”

“科学在美国”讲话笔记

Notes from before Los Alamos

洛斯阿拉莫斯之前的笔记

Notes from Los Alamos

洛斯阿拉莫斯笔记

Oersted Medal acceptance speech, 1972

奥斯特奖章接受演说，1972年

Omni interview, February 1979

大全访谈，1979年2月

On his experience with the Manhattan Project, “Los Alamos from Below”，1976

谈他的曼哈顿计划经历：“从低处看洛斯阿拉莫斯”，1976年

On his lecture topic for the Sir Douglas Robb Lectures, June 1979

谈他的道格拉斯·罗布讲座的主题，1979年6月

Panel discussion, particle physics conference, Irvine, California, 1971

讨论会，粒子物理学会议，欧文市，加利福尼亚，1971年

People, July 22, 1985

《人物》杂志，1985年7月22日

Personal letter of condolence

个人唁函

Press conference, April 23, 1963

记者招待会，1963年4月23日

Programme of American Physical Society Annual Meeting, 1950

美国物理学学会年会程序，1950年

Quoted in James Gleick, *Genius*：*The Life and Science of Richard Feynman*，1992，p. 244

转引自詹姆斯·葛雷科：《天才：理查德·费曼的生平与科学》，1992年，第244页

Quoted in K. C.Cole, *The Universe and the Teacup*：*The Mathematics of Truth and Beauty*，1998

转引自科勒：《宇宙与茶杯：关于真理与美的数学》，1998年

Quoted in Star News, October 16, 1982

转引自《星报》，1982年10月16日

“QED：Electrons and Their Interactions”, The Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, June 1979

“量子电动力学：电子及其相互作用”，道格拉斯·罗布爵士讲座，奥克兰大学，1979年6月

“QED：New Queries”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

“量子电动力学：新的疑问”，道格拉斯·罗布爵士讲座，奥克兰大学，1979年

“QED：Photons—Corpuscles of Light”, Sir Douglas Robb Lectures, University of Auckland, 1979

“量子电动力学：光子——光的粒子”，道格拉斯·罗布爵士讲座，奥克兰大学，1979年

Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident

“挑战者号”航天飞机事故总统调查委员会报告

South Shore Record, October 28, 1965

《南岸纪实报》，1965年10月28日

StarNews, Opinion, June 18, 1986

《星报》，“意见”栏，1986年6月18日

Surely You’re Joking, Mr. Feynman！

《别逗了，费曼先生！》

“Simulating Physics with Computers”，*International Journal of Theoretical Physics*, May 1981

“用计算机模拟物理过程”，《国际理论物理期刊》，1981年5月

“Strangeness Minus Three”, BBC，1964

“奇异数减三”，BBC，1964年

“Structure of the Proton”, Niels Bohr Medal lecture given in Copenhagen, Denmark, October 1973

“光子的结构”，尼尔斯·玻尔奖章讲座，丹麦哥本哈根，1973年10

月

The Daily Times, October 5, 1966

《每日时报》，1966年10月5日

“The Computing Machines in the Future”, Nishina Memorial Lecture, August 1985

“未来的计算机”，仁科芳雄纪念讲座，1985年8月

“The Cult of Richard Feynman”，*Los Angeles Times*, February 2, 2001，quoted in *Lectures on Computation*, ed. Tony Hey

“对费曼的个人崇拜”，《洛杉矶时报》，2001年2月2日，转引自《费曼讲计算》

“The Feynman Legend”，*The Los Angeles Times*, February 17, 1988

“费曼的衣钵”，《洛杉矶时报》，1988年2月17日

“The Present Situation in Quantum Electrodynamics”, Solvay conference, 1961

“量子电动力学的现状”，索尔维会议，1961年

“The Problem of Teaching Physics in Latin America”，1963

“在拉美教物理的麻烦”，1963年

“The Qualitative Behavior of Yang-Mills Theory in 2+1 Dimensions”, January 1981

“杨—米尔斯理论在2+1维度中的定性行为”，1981年1月

“The Relation of Science and Religion”, May 1956

“科学与宗教的关系”，1956年5月

“The Remarkable Dr. Feynman”，*Los Angeles Times Magazine*, April 20, 1986

“非凡的费曼博士”，《洛杉矶时报》杂志，1986年4月20日

“The Role of Scientific Culture in Modern Society”，*The Pleasure of Finding Things Out*

“科学文化在现代社会中的角色”，《发现的乐趣》

“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*）

“科学的不确定性”，约翰·丹兹讲座系列，1963年（《费曼讲演录》）

“The Value of Science”, December 1955，*The Pleasure of Finding Things Out*，“The Uncertainty of Science”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*）

“科学的价值”，1955年12月，《发现的乐趣》，“这个不科学的年代”，约翰·丹兹讲座系列，1963年（《费曼讲演录》）

“Theory and Applications of Mercerau’s Superconducting Circuits”, October 1964

“Mercerau超导电路的理论和应用”，1964年10月

“There’s Plenty of Room at the Bottom”, December 1959，*Saturday Review*, April 2, 1960

“底层大有用武之地”，1959年12月，《星期六评论》，1960年4月2日

“This Unscientific Age”, John Danz Lecture Series, 1963（*The Meaning of It All*）

“这个不科学的年代”，约翰·丹兹讲座系列，1963年（《费曼讲演录》）

“Tiny Computers Obeying Quantum Mechanical Laws”，*New Directions in Physics*：*The Los Alamos 40th Anniversary Volume*，1987

“微型计算机遵守量子力学定律”，《物理学的新方向：洛斯阿拉莫斯40周年文集》，1987年

U. S.News and World Report interview, February 1985

《美国新闻与世界报告》采访，1985年2月

UC Berkeley Lectures, “Time and Physics in Evolutionary History”, spring 1968

加利福尼亚大学伯克利分校讲座：“进化史上的时间与物理学”，1968年春

UCSB talk, “Los Alamos from Below”, February 1975

加利福尼亚大学圣巴巴拉分校讲话：“从低处看洛斯阿拉莫斯”，1975年2月

What Do You Care What Other People Think?

《你干吗在乎别人怎么说？》

“What Is Science?”，*The Pleasure of Finding Things Out*

“什么是科学？”，《发现的乐趣》

Written on blackboard when he died

他死前留在黑板上的字

[1]费曼图是理查德·费曼创立的一种形象化的方法，用来方便地处理量子场中各种粒子的相互作用。——译者注

[2]部分子模型，是费曼和詹姆斯·布约肯（James Bjorken）在20世纪60年代提出的，用来处理强子对撞机的发现。

[3]CP 表示电荷宇称。物理学家一度相信，关于一个粒子和一个反粒子的物理学定律是一样的，只要你使这两个粒子在位置上对称；但是，詹姆斯·克罗宁（James Cronin）和瓦尔·菲奇（Val Fitch）在1964年发现这个猜想不正确，为他们赢得了1980年的诺贝尔物理学奖。

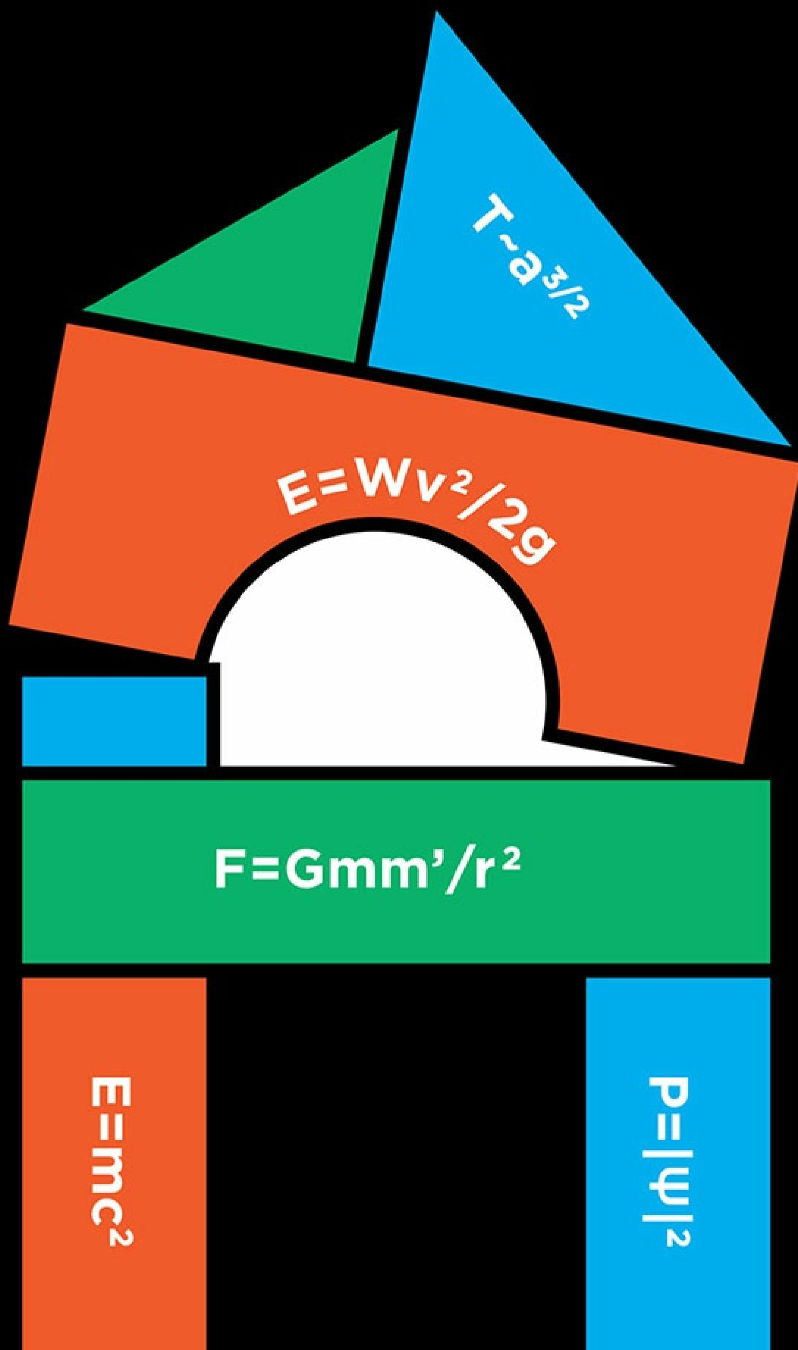
Six Easy Pieces

费曼讲物理：入门

Richard P. Feynman

[美] 理查德 · 费曼●著

秦克诚●译



湖南科学技术出版社

版权信息

费曼讲物理：入门

著者：[美]理查德·费曼

译者：秦克诚

责任编辑：吴炜　陈刚　李蓓

书籍设计：汪赵冲　邵年

ISBN：9787571000202

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息
出版者的话
前言
特别序言
费曼的序言
第1章 运动着的原子
　1-1 引言
　1-2 物质由原子构成
　1-3 原子过程
　1-4 化学反应
第2章 基础物理学
　2-1 引言
　2-2 1920年前的物理学
　2-3 量子物理学
　2-4 原子核和粒子
第3章 物理学与其他学科的关系
　3-1 引言
　3-2 化学
　3-3 生物学
　3-4 天文学
　3-5 地质学
　3-6 心理学
　3-7 它是怎么变成这个样子的
第4章 能量守恒
　4-1 什么是能量

4-2 重力势能
4-3 动能
4-4 能量的其他形式
第5章 万有引力理论
5-1 行星运动
5-2 开普勒定律
5-3 动力学的发展
5-4 牛顿引力定律
5-5 万有引力
5-6 卡文迪什实验
5-7 引力是什么
5-8 引力和相对论
第6章 量子行为
6-1 原子力学
6-2 用子弹做的实验
6-3 用波做的实验
6-4 用电子做的实验
6-5 电子波的干涉
6-6 观察电子
6-7 量子力学的基本原理
6-8 不确定原理
理查德·费曼生平



出版者的话

本书的出版，是为了向尽可能广大的读者提供一本内容充实然而仍然是非专业性的物理学入门书，它以费曼的科学工作为基础。我们从费曼著名的里程碑式作品费曼《物理学讲义》（初版于1963年，现在仍是费曼最出名的著作）中选了最容易读的六章。对于一般的读者，幸运的是，费曼选择用不含数学公式的、主要是定性的方式来叙述一些关键题目，这些题目编在一起，就成了本书。

Addison-Wesley出版公司感谢保罗·戴维斯，他为这个新选本写了富有洞察力的前言。在他的前言的后面，我们还从费曼《物理学讲义》里选了两篇序言，一篇是费曼本人的，一篇是他的两位同事的，因为这两篇序言提供了后面六章的来龙去脉，以及对理查德·费曼及其科学工作的深入介绍。

最后，我们得感谢加州理工学院物理系和学院的档案馆，特别是Judith Goodstein博士和Brian Hatfield博士，他们在本书的编选过程中提供了很好的指导和建议。

前言

罗杰·彭罗斯

1994年9月

有一个颇为流行的错误观念，以为科学是不具个性的、冷冰冰的、纯客观的事业。尽管人类的大部分其他的活动是受风气、时尚和人的个性支配的，可是人们却认为科学是受公认的程序规则和严格的检验所约束。重要的是科学研究的结果，而不是得出这些结果的人。

这当然是一派胡言。像一切人类奋斗领域一样，科学是由人推动的活动，同样受着风尚和一时的兴致的支配。在这里，风尚不仅表现在对研究题目的选择上，还更多地表现在科学家看待这个世界的方式上。每个时代有其特有的探索科学问题的途径，通常是追随某些杰出人物照亮的道路，这些人既制定了议事日程，也确立了解决列在这个日程上的问题的最佳方法。有时，一些科学家攀登到足够的高度，受到公众瞩目，一个具有杰出素质的科学家就可能成为整个科学界崇拜的偶像。在以往的几个世纪里牛顿就是这样的偶像。牛顿是绅士型科学家的体现——他与权贵有一张关系网，虔信宗教，不慌不忙，做事井井有条。他搞科学的风格在200年中被奉为圭臬。在20世纪的前半个世纪里，爱因斯坦替代牛顿成为大众的科学偶像。行为古怪，不修边幅，德国风度，心不在焉，全神贯注投入工作，一个抽象思想家的原型。爱因斯坦通过对物理学的最基础的概念提出质疑，改变了做物理研究的方式。

理查德·费曼成了20世纪后期物理学的偶像——他是第一个到达这种位置的美国人。费曼于1918年生于纽约，在东岸受教育。他生得太晚，已无缘参加物理学的黄金时代即20世纪的前3个10年用相对论和量子力学改变我们的世界观的革命。这些横扫千军的发展奠定了现今的新物理学大厦的基础。费曼从这些基础出发，帮助建成了新物理学的第一层。他的贡献触及新物理学的几乎每一角落，并且对物理学家思考自然和宇宙的方式有深刻而持久的影响。

费曼是一个优秀的理论物理学家。牛顿既是实验家又是理论家，说不上偏重哪边。爱因斯坦则相当轻视实验，宁肯把他的信念置于纯粹的思维上。费曼从事的是发展一个对自然的深刻的理论理解，但是他总是保持着与现实世界、与常常是乱七八糟的实验结果的紧密联系。曾看过费曼如何把橡胶圈浸到冰水中以解释挑战者号航天飞机灾难事故的人，谁也不会怀疑他既擅长表演又是一个非常实际的思想家。

起初，费曼是以他在亚原子粒子理论方面的工作，特别是由于量子电动力学（其英文缩写为QED）这门学科而赢得声誉的。事实上，量子理论正是从这门学科开始的。1900年，德国物理学家普朗克提出，到那时为止一直被看成波的电磁辐射，在与实物相互作用时，却又自相矛盾地表现出像能量小包或“量子”那样的行为。这种特殊的量子后来叫做“光子”。在20世纪30年代初之前，新量子力学的建筑师们搞出一个数学方案，来描述带电粒子例如电子对光子的发射和吸收。虽然QED的这种早期表述得到有限的成功，但这个理论显然是有缺陷的。在许多情况下对非常确定的物理问题的计算却给出不协调的甚至无穷大的答案。青年费曼在20世纪40年代末，正是将注意力转到建立一个协调一致的QED理论的问题。

为了把QED置于一个坚实的基础上，就必须使这个理论不仅同量子力学的原理协调一致，还得同狭义相对论的原理协调一致。量子力学和

相对论各自具有不同的数学机制，具有复杂的方程组，它们的确可以联合或相消以得到量子电动力学的一个令人满意的表述。这样做是一项繁重的任务，需要高度的数学技巧，费曼的同时代人正是沿着这条路做下去的。但是费曼却采取了一条根本不同的路线——这条路线是如此根本和激进，事实上，他不用任何数学就大致能直接写出答案！

为了协助这种非凡的直观技艺，费曼发明了一种以他的名字命名的简单图形系统。费曼图是描绘电子、光子和其他粒子相互作用时所发生的事情的一个很有启发性的简单符号方法。今天费曼图已成为计算的一个常规辅助手段，但是在20世纪50年代初，它们标志着与传统理论物理研究方法令人吃惊的背离。

建立协调一致的量子电动力学理论这个具体问题，尽管是物理学发展史上的一个里程碑，但这仅仅是开始。下面还要界定费曼特定的风格，这种风格在物理学的范围广泛的各个课题中产生出一系列重要成果。对费曼风格的最佳描述是，它是对已有的人类智慧成果的尊崇和不敬的混合。

物理学是一门精确科学，现有的物理学知识虽然不完备，却不可以简单地弃置一边。费曼在很年轻时便对人们已接受的物理学原理有老辣的掌握，并且他选择的研究对象几乎完全是常规的问题。他不是那种在传统约束的死水中、在孤独中苦干偶然碰到深奥的新结果的天才。他的特殊才能是用他特有的方法去研究实质上属于主流方向的问题。这意味着避开现有的形式体系，开辟他自己的高度直观的研究途径。大部分理论物理学家都依靠细心的数学计算作为把他们带进未知领域的导游指南和拐杖，费曼的态度却几乎是一种优雅的骑士风度。他给你的印象是，他能够像读一本书一样读大自然，只是简单地报道他发现的东西，而没有冗长的复杂分析。

的确，在以这种方式追求自己的兴趣时，费曼显示了对严格的形式

体系的极度藐视。很难用言辞表达出这样干需要多么高的天赋。理论物理学是一门最难的智力活动，它把蔑视形象思维的抽象概念同极其复杂的数学结合在一起。绝大部分的物理学家只有依靠最高强度的脑力劳动才能得出一些进展。而费曼则对这套严格的行为规则显得驾轻就熟，就像摘取现成的果子一样从知识之树摘取新成果。

费曼的风格在很大程度上来自他的个性。在他的职业生涯和私生活中，他好像是把这个世界当作一场非常好玩的游戏。物理世界在他面前呈现出一系列迷人的难题和挑战，他的社会环境也一样。他一辈子都是一个爱开玩笑的人，他对权力当局和学术权威，就像他对呆板的数学形式体系一样不尊重。他绝不是一个甘心被愚弄的人，只要他发现现有的规则是专横无理或是愚蠢荒谬的，他就毫不客气地打破它们。他的自传里充满了他在第二次世界大战中如何使原子弹计划的保安人员上当、如何开保险柜、如何用鲁莽无礼的行为解除女士们的戒备的好玩的故事。他对因为在QED方面的工作而授予的诺贝尔奖，也采取了类似的爱要不要的态度。

和费曼这种对拘泥形式的厌恶并行的，是他对稀奇古怪和晦涩难解的东西的迷恋。许多人还记得他对消失已久的中亚国家图瓦[1]的着迷，在他去世前不久还高兴地参与一部有关的纪录片的制作。他在别的方面的热情还包括演奏邦戈鼓、画画、经常出入脱衣舞夜总会和破译玛雅文字。

费曼自己做过不少事来建立他与众不同的形象。虽然懒于动笔，他的谈锋却很健，并且爱讲关于他的各种想法和恶作剧的故事。这些轶事，经过一年一年的积累，增添了他的神秘，并且在他有生之年就使他成了一个人人皆知的传奇人物。他的魅力使他非常受学生的喜爱，特别是更年轻的那些学生，他们之中许多人把他作为自己的偶像。在费曼因癌症于1988年去世时，他工作了大半辈子的加州理工学院的学生打出了

一面旗，上面简单地写着："我们爱你，迪克。"

正是费曼潇洒的生活态度和搞物理的态度，使他成为这样优秀的一位教师：他很少有时间正式讲课，甚至很少有时间指导他的博士生。但是在合适的情况下他能做非常精彩的讲演，里面充满了智慧的火花、深刻的洞察力和在研究工作中表现出来的对传统的不敬。

在20世纪60年代初，人们劝费曼给加州理工学院的一年级和二年级学生开一门物理入门课程。他以他特有的大张声势和他那种没法模仿的不拘礼节、风趣和不落俗套的幽默的混合方式开了这门课。幸运的是，这些无价的讲演用书本形式为后人留了下来。尽管与通常的教材在风格和表述上有很大的不同，但他这套物理学讲义是一个巨大的成功，激励和鼓舞了全世界整整一代学生。30年过去了，这套书一点也没有失去它的光彩和明晰。本书是直接从费曼物理学讲义采集来的。编这本书的意图是用费曼物理学讲义这部里程碑式的作品前面不太深奥的几章，让一般的读者领略教育家费曼的风采。其结果就是这本令人喜爱的小书——它既可作为非理工科读者的一本物理入门书，也可以作为了解费曼本人的一本入门书。

费曼仔细和精心的讲解给人印象最深的是，他能够用最节约的概念投资和最小量的数学和专门术语，引出影响深远的物理观念。他有窍门能够找到正好的类比或日常的例证，来明白地显示一个深邃的物理学原理的本质，而且不被附带的或不相干的细节所模糊。

本书选择内容的并不打算使它成为近代物理学的一个全面的概括，而是要引起读者对费曼的教学方法的兴趣。我们立刻看到的是，他如何能用新的见解来阐发那些哪怕是老生常谈的题目如力和运动。关键性的概念用取自日常生活或古代的例子来说明。在让读者毋庸置疑地了解哪些是基本理论的同时，又不断地将物理学同别的学科联系起来。

在本书一开始，我们就学到了整个物理学植根于规律的观念——存在着一个有秩序的宇宙，它能够凭理性的推理而被理解。但是，在我们对自然界的直接观察中，物理学的定律并不是透明可见的。它们巧妙地隐藏在我们所研究的现象当中。要揭开隐藏着的有规律的实在上面的面纱，就需要物理学家的秘密武器——仔细设计的实验和数学理论。

最广为人知的物理学定律可能是牛顿关于引力的平方反比定律，在本书的第五章讨论。这个题目是在太阳系和开普勒的行星运动定律的背景下介绍的。但是引力是万有的，横跨宇宙起作用，这使费曼能够用天文学和宇宙学中的例子来为他的讲述增添趣味。在评论了一幅由看不见的力以某种方式结合在一起的球状星团的图景之后，他抒发起感慨来了："如果有人看不出引力在这里起作用，那他就没有脑子。"

人们还知道别的与自然界的非引力的作用有关的定律，它们描述物质粒子如何相互作用。这些力只有很少几种，费曼本人就因他是历史上少有的几位发现一条物理学新定律的科学家之一而享有盛名，他发现的新定律是关于弱作用力是如何影响某些亚原子粒子的行为的。

高能粒子物理学是战后科学的王冠上的宝石，带着它的那些巨型加速器和似乎没完没了的新发现的亚原子粒子的清单，使人又爱又怕。费曼的研究工作的主要方向是弄清楚这门学问得出的结果的意义。在粒子物理学家中，一个一致的大主题是对称性和守恒定律对建立亚原子粒子园的秩序所起的作用。

粒子物理学家所知道的对称性，刚好也是在经典物理学中已熟悉的对称性。这些对称性中最主要的是由空间和时间的均匀性引起的对称性。以时间为例：除了在宇宙学中大爆炸标志着时间的开始以外，在物理学中没有东西能够区分一个时刻和另一个时刻有什么不同。物理学家说世界"在时间平移中不变"，意思是在你的测量中不论是取半夜还是取正午作为时间的原点，对物理现象的描述不会造成什么区别。物理过程

不倚赖于时间的绝对原点。后来知道，这种时间平移下的对称性直接隐含着一条最基本和最有用的物理学定律：能量守恒定律。这条定律说，你可以把能量挪走并且改变它的形式，但是你不能生成它或毁灭它。费曼用他的淘气鬼丹尼斯的好玩的故事（这个孩子总是把他的积木藏在他妈妈看不见的地方），把这条定律解释得很透彻（第四章）。

本书中最具挑战性的一章是最后一章，这一章是对量子物理学的解说。毫不夸张地说，量子力学支配着20世纪的物理学，它无疑是现有的最成功的科学理论。它对理解亚原子粒子、原子和原子核、固体的结构、超导性和超流性、金属和半导体的导电性和导热性、恒星的结构以及好多好多别的东西，都是必不可少的。它的实际应用的范围从激光器一直到微芯片。所有这些都来自一个乍一看来（多看几眼也一样）绝对疯狂的理论！量子力学的奠基者之一尼耳斯·玻尔曾说过，如果谁没有受到量子理论的震撼，他就根本不懂得它。

问题在于，量子概念冲击了我们可以称之为常识性实在的核心。特别是，诸如电子或原子这样的物理客体是独立的存在、任何时候都有一组完备的物理属性这个观念出了问题。例如，一个电子不能同时在空间有一个位置又有一个确定的速率。如果你要找一个电子的位置在哪里，你会发现它在某个地方；如果你测量它的速率，你也会得到一个确定的答案。但是你不能同时做这两种观测。在没有一组完备的观察时，把位置和速率确定但未知的值赋予一个电子也是没有意义的。

原子粒子的本性中的这种不可确定性总结在海森伯著名的不确定原理中。这个原理严格地限制了同时测量位置和速率这样的属性可以达到的精度。位置的一个精确取值使速率的可能值的范围变模糊，反之亦然。在电子、光子和其他粒子的运动方式中都显露出这种量子模糊性。某些实验表明，这些粒子是沿着确定的路径穿过空间的，就像子弹沿着轨道飞向靶子。但是别的实验装置又表明，这些客体的行为也可以像

波，表现出典型的衍射和干涉图样。

费曼对著名的“双缝”实验所做的高明分析，把使人震惊的波粒二象性以其最尖锐的形式梳理了出来，至今已成为科学解说史上的经典。他只用很少几个很简单的概念，就把读者带到了量子之谜的核心，并且让我们对它所揭露的实在的矛盾本性啧啧称奇。

虽然量子力学在20世纪30年代初期已经有教科书了，但是，青年费曼宁肯自己把理论改写为一种全新的形式，这是他一贯的典型做法。费曼方法的优点是，它向我们提供了一幅生动的图景，表明大自然的量子诡计是如何运作的。这个方法的想法是，在量子力学中，一个电子穿越空间的路径不是完全确定的。比方说，我们可以想像一个自由运动的电子，它不仅仅是像常识建议的那样沿A、B两点之间的直线运动，而且可以取各种各样曲里拐弯的路径。费曼让我们想象，电子用某种方法探索了一切可能的路径，在没有进行过一次观察以表明电子是取哪一条路径之前，我们必须假设一切可能的路径都会以某种方式对实在作出贡献。因此当一个电子到达空间（比方说靶平面上）一点时，必须把多个不同的历史综合起来以产生这次事件。

费曼的所谓量子力学路径积分方法或对历史求和方法，就是把这个卓越的想法加工成一个数学的常规程序。在许多年里，它只是物理学家的一个稀罕的玩物，但是在物理学将量子力学推到登峰造极的地步（把它应用于引力或宇宙学）后，人们发现，费曼方法提供了描述一个量子宇宙的最佳计算工具。历史将会恰当地判定，在费曼对物理学的诸多杰出贡献中，量子力学的路径积分表述是最重要的贡献。

本书中讨论的许多想法带有很深的哲学味道。但是费曼对哲学家有一种根深蒂固的怀疑。一次我曾有机会就数学和物理学定律的本性以及是否能认为抽象的数学定律拥有一种独立的柏拉图式的存在询问过他的看法。他给出了一个非常肯定的和熟练的描述，说明事情何以的确显得

如此，但是当我逼着他采取一个具体的哲学立场时，他立刻就后退了。当我试图从他口中引出关于还原论的话头时，他也同样地小心翼翼。按我的事后之见，我相信费曼并不轻视哲学问题。但是，正像他不用系统的数学而能够做出出色的数学物理学工作一样，他也能得出一些出色的哲学见解而不需要系统的哲学。他讨厌的是形式体系，不是内容。

世界不太可能再看到一个理查德·费曼。他在很大的程度上是他的时代之子。费曼的风格只是对正处于巩固一次革命和广泛探索其应用的过程中的学科才工作得令人满意。战后的物理学的基础是牢固的；其理论结构是成熟的，并且为各式各样的应用留有广阔的空间。费曼进入了一个抽象概念的仙境，在其中的许多东西上留下了他个人的思想烙印。这本小书以独特的角度展现了一个非凡人物的心灵。

特别序言

（选自费曼《物理学讲义》）

大卫·L.古德斯坦

格里·纽吉堡尔

1989年4月于加州理工学院

在他生命的暮年，理查德·费曼的声望已经超出了科学界的范围。作为调查“挑战者号”航天飞机灾难事故委员会的一员，他的功绩使他广为人知；同样，一本有关他那富于传奇色彩的生涯的畅销书使他成为人们心目中几乎与阿尔伯特·爱因斯坦并驾齐驱的著名人物。不过，哪怕退回到1961年，在他获得诺贝尔奖而在公众中声名大噪之前，费曼也并不仅仅在科学界闻名——他是一个传奇式的人物。他那非凡的教学才能无疑促使其传奇故事广为流传，并增添了神奇的色彩。

他不愧是一个伟大的教师，也许是他那个和我们这个时代最出色的。对于费曼来说，演讲大厅就是一个大剧场，演讲的人就是一个演员，既负责提供剧本，也要提供渲染演出效果的焰火以及要传达给听众的事实和数字。他会在讲坛上来回走动，挥动着双手，“在所有身体动作和声响效果上，理论物理学家与马戏团的杂耍演员两者难以做到的结合，”《纽约时报》这样写道。不论他演讲的听众是学生、同事还是公众，那些有幸亲眼目睹费曼演讲的人，对其讲演的感受都是非比寻常的，而且总是难以忘怀的，就像对费曼本人一样。

他是一个喜剧大师，善于吸引各种层面的听众的注意力。许多年

前，他讲授过一门高等量子力学课程，这是为加州理工学院的一些在校研究生和该校物理系的大部分教师开设的一门大课。在其中一次讲课中，费曼开始说明如何用图解法表达某些复杂的积分：时间用这根轴表示，空间用那根轴表示，这条直线就用波状线表示，等等。在描述完物理学界熟知的费曼图之后，他转过身来面对着全班学生，诡秘地咧嘴笑道："这就是那个图！"费曼的演讲结束了，演讲大厅爆发出一阵阵自发的喝彩和掌声。

在完成本书讲义之后许多年里，费曼偶尔担任了加州理工学院大学一年级学生的物理学课程的客座授课。由他出马自然要保密，使得演讲大厅中有座位留给那些登记选课的学生。在这样一次演讲中，主题是弯曲的时空，费曼表现得特别出色。不过，最令人难忘的时刻却是在演讲开始的时候。当时1987超新星刚刚被发现，费曼对此感到非常兴奋。他说："第谷·布拉赫有他的超新星，开普勒也有。之后400年间就再也没有过了。可是现在，我也有我的超新星了。"教室里安静下来了，费曼继续说道："在银河系中有10^{11}颗星星。通常，这是一个巨大的数字。但是，这只不过是1000亿而已。它比我国的财政赤字还小呢！我们通常把这些数字叫做天文数字。可现在，我们应该把它们叫做经济学数字了。"全班情不自禁地大笑起来，而费曼，在抓住了听众之后，继续他的演讲。

除了表演才能之外，费曼的教学技巧并不复杂。我们在加州理工学院档案库保存的文件里找到了说明他的教学理念的一段概括性的话，这是他1952年在巴西时为自己匆忙写下的一张便笺：

"首先要搞清楚你为什么要学生学这个专题，以及你要他们知道哪些东西，至于用什么方法就或多或少由常识给出了。"

费曼所谓的"常识"常常就是完全抓住问题本质的出色技巧。在一次对公众的讲演中，他要解释为什么不可以用提出观念的同一组数据来检

验这种观念。似乎是偏离了演讲的主题，费曼开始讨论汽车牌照问题。“你们看，今晚发生了一件最令我吃惊的事情。当时，我正到这里来演讲，我穿过停车场进来了。你们不会相信发生了什么事情。我看到了一辆汽车，车牌是ARW 357。你能想象吗？在全国几百万个车牌中，今晚我看到这个特殊车牌的机会有多大？真令人惊奇！”甚至许多科学家也未能掌握的问题，通过费曼那非比寻常的“常识”却弄明白了。

在加州理工学院的35年中（1952～1987），费曼创下了讲授过34门课程的纪录。其中25门课程是研究生的高级课程，只限于研究生修读，本科生要修读这些课程需要获得批准（他们常常修读这些课程，因为请求几乎总是获得批准）。其余的课程主要是研究生的入门课程。纯粹为本科生开设的课程，费曼只教过一次，这就是在1961～1962学年和1962～1963学年备受称道的那一次，在1964年又简略地重讲了一次，这次讲课的内容后来就编成了《物理学讲义》。

当时，加州理工学院中有一个共识，那就是大学一、二年级的学生常被头两年必修的物理学课程搞得情绪低落、毫无兴趣，而不是受到激励。为了纠正这种状况，学院要费曼给学生开设一系列覆盖两年时间的讲座，先给一年级的学生讲，接着再给升上二年级的同一班级的学生讲。在得到他同意后，学院很快就决定，将讲课的内容记录下来出版。结果发现，这项工作比人们想象的要困难得多。要将讲课的内容整理成可以出版的讲义，费曼的同事需要做大量的工作，而他本人也一样，要对每一章的内容做最后校订。

课前还得先讲一讲开设这门课程的基本想法和组成部分。由于费曼对要讲什么只有一个不明确的大纲，使这项工作变复杂了。这意味着，只有当费曼站在坐满学生的演讲大厅中讲课时，人们才知道他要讲些什么。然后，学院里协助他工作的教授就会急急忙忙地处理像编写课外作业之类的琐碎细节。

费曼为什么要花上两年多的时间改革初等物理学的教学方法呢？人们只能推测其中的原因，不过，基本的原因大概有三个。第一个是他喜欢有一大群听众，这给了他一个比研究生课程中所拥有的更大的剧场；第二个是他真诚地关爱学生，他朴素地认为，教大学一年级的学生是一件重要的事情；第三个而且可能是最重要的原因是，按照他自己的理解来重整物理学，使得能够把它传授给年轻的学生，这是一项极富挑战性的工作。这是他的特性，是他衡量某件事情是否真正理解了的标准。有一次，学院的一位老师请费曼解释自旋等于1/2的粒子为什么服从费米狄拉克统计。他完美地给这位听众解释了一番，并说道，“我将就这个问题为大学一年级学生开一次讲座。”可是过了几天他回来说，“不行，我干不了这件事。我没法把它简化到大学一年级的水平。这意味着实际上我们并不理解它。”

将艰深的概念化解为简单的、可以理解的词句，这种特色在整部《物理学讲义》中都很明显，但是，表现得最突出的是他对量子力学的讨论。对于那些费曼迷来说，他所做的事情是清楚的。他向刚入门的学生介绍了路径积分方法，这是他发明的用来解决某些最深奥的物理问题的方法。他用路径积分所做的工作，以及其他成就，使他与朱利安·施温格和朝永振一郎一起分享了1965年度的诺贝尔奖。

掀开久远的记忆的面纱，许多参加过讲座的学生和教师都说，与费曼共度物理学课程的两年时光是人生难得的一次经历。不过，当时的情况似乎并不是这样。许多学生害怕进入教室，随着课程的进展，来上课的注册选课的学生人数开始急剧地下降。可是同时，越来越多的教师和研究生开始来听课了。教室一直挤得满满的，费曼也许从来就不知道他正在失去一部分他特意要争取的听众。不过，即使在费曼看来，他在教学方法上的创新尝试也并不成功。1963年他在《物理学讲义》的序言中写道：“我不认为我对学生做得很好。”重读这些讲义，人们有时似乎感到费曼正注视着他的同事而不是他的年轻学生，说道，“看哪！看一看

我是如何略施小计解决这个问题的！难道这不是很巧妙吗？”可是，即使他认为他是在给大学一、二年级学生做出浅显易懂的解释，真正能够从他做的事情中获得最大收益的却并不是他们。这个巨大成就的主要受益者是他的同行们——科学家、物理学家和教授，透过理查德·费曼那新颖的和富有活力的观点审视物理学。

费曼不仅是一位伟大的教师。他的才华在于他是教师们的一个出色的老师。如果编写《物理学讲义》的目的只是为大学本科生解决物理学课程的考试问题，那么，他并不特别成功。而且，如果原来的意图是把这些讲义用做大学的入门教科书，也不能说他实现了目标。尽管如此，这套讲义已经被翻译成10种语言，并且有4种双语版本。费曼本人认为，他对物理学最重要的贡献不是量子电动力学，不是液氦的超流理论，不是极化子模型，也不是部分子模型。他的主要贡献是这3本《物理学讲义》。这个看法表明，出版这几本备受称道的讲义的这个纪念版是完全有道理的。

费曼的序言

（选自费曼《物理学讲义》）

理查德·费曼

1963年6月

这是我去年与前年在加州理工学院给大学一、二年级学生讲授物理学时的讲义。这本讲义当然不是逐字逐句的讲课记录稿——它们或多或少都经过编辑加工。讲课只是构成整个课程的一部分。全班180个学生每周两次聚集在一个大教室中听课，然后分成15～20个学生一组的复习讨论小组由助教进行辅导。此外，每周还有一次实验课。

在这些课程中，我们想要解决的主要问题是，使那些充满热情而且相当聪明的中学毕业后进入加州理工学院的学生仍然保持他们的兴趣。他们早就听许多人说过物理学如何有趣、如何引人入胜了——相对论、量子力学和其他近代概念。但是，当他们学完两年我们以前的那种课程后，许多人就泄气了，因为教给他们的实际上很少有意义重大的、新颖的和现代的观念。要他们学的还是斜面、静电及诸如此类的内容，两年过去了，不免令人相当失望。问题是，我们是否能开设一门课程来顾全那些更优秀、更勤奋的学生，使他们保持求知的热情。

这份讲义完全不是概论性的，而是一门极其严肃认真的课程。我设想这些课程是对班级中最聪明的学生讲的，而且只要有可能，就要确保甚至最聪明的学生也不能完全消化讲课中的所有内容（通过在讲课中提出一些有关的观念和概念在主要线索之外各个方向上的应用）。为此，我试图使所有的陈述尽可能准确，在每种场合都指出有关的公式和概念

在整个物理学中占有什么样的地位，以及（随着学习的深入）应该怎样做出修正。我还感到，对于这样的学生，重要的是向他们指出，哪些东西是他们通过对已学过的知识进行演绎就应该能够理解的（如果他们足够聪明的话），哪些东西是作为新东西而引入的。每当新概念出现时，如果这些概念是可以推演出来的，我就尽量把它们推演出来，否则就说明这是一个新概念，它不以任何他们学过的知识为基础，而且认为它是不能证明的——它只是新引进来的。

在课程开始时，我假定学生们在中学毕业时已经知道了某些内容——比如说几何光学、简单的化学概念等。我也看不出有任何理由要按某个确定的顺序来讲授这门课，这个顺序意味着在做好准备详细讨论某个概念之前，我不能提到这个概念。我在讲课中曾经提到过许多将会详细讨论的内容，而提到时并未进行充分的讨论。这些问题的更完整的讨论要等到以后当学生的预备知识更充足时再进行。对电感和能级的讨论就是两个例子，最初只是以非常定性的方式引入这些概念，后来才更全面地展开讨论。

在对准那些更主动的学生的同时，我也希望照顾到另一些学生，对他们来说，这些额外的五花八门的内容和附带的应用只会使他们感到烦恼，也根本不指望他们能听懂讲课中的大部分内容。对这些学生，我希望至少有一个他能够掌握的中心内容或主干材料。即使他并不理解一堂课中的所有内容，我希望他也不要紧张不安。我并不要求他理解所有的内容，只要求他理解核心的和最直接的部分。当然，他也得有一定的水平来领会哪些是主要的定理和概念，哪些是更复杂的枝节问题和实际应用，只有在以后才会理解。

在讲课的过程中遇到了一个严重的困难：没有任何来自学生的反馈信息向我说明讲课的效果究竟如何。这的确是一个很严重的困难，我不知道讲课的效果实际怎样。整件事情实质上是一次实验。如果我真的再

讲一次的话，我将不会按同样的方式去讲了——我希望我不必再讲一次！不过我认为，在第一年中这些课程——就物理内容来说——还是相当令人满意的。

在第二年里，我就不那么满意了。课程的第一部分讨论电磁学，我想不出任何真正独特或不同寻常的处理方法——比通常的讲述方式更为引人入胜的任何处理方法，因此，我不认为我在讲授电磁学时做了很多事情。在第二年末，我本来打算继电磁学之后再讲一些物性方面的内容，主要讨论基本模式、扩散方程的解、振动系统、正交函数等问题……逐步阐述通常称为“数学物理方法”的初步内容。现在回想，如果再讲一遍的话，我会回到原来的这个想法上去的。但是，由于没有计划要我再讲一遍这门课，有人就建议，试着介绍一下量子力学可能是个好主意——这就是大家将在第三卷中看到的内容。

很清楚，主修物理学的学生可以等到第三年再学习量子力学。另一方面，有一种说法认为许多修我们这门课的学生只是把学习物理学作为他们在其他领域中的主要兴趣的背景知识。而通常处理量子力学的方法使大多数学生几乎无法利用这门学科，因为他们必须花相当长的时间去学它。然而，在量子力学的实际应用中——特别是在较复杂的应用，如电机工程和化学领域中——整个微分方程的处理方法实际上并没有被用到。因此，我试着这样来叙述量子力学的原理，即不要求学生首先熟悉偏微分方程这个数学工具。我想，即使对一个物理学家，由于在讲义本身中可以明显看出的一些原因，按照这种颠倒的方式来介绍量子力学也是一件值得一试的有趣的事。然而，我认为，在量子力学方面的尝试并不完全成功——这主要是因为在最后我实际上已经没有足够的时间了（比如说，我应该再多讲三四次课，以便更完整地讨论诸如能带、概率幅的空间依赖关系等问题）。还有，我过去从未以这种方式讲授过这个专题，因此，反馈信息的缺乏就尤其严重。我现在相信，还是应当迟一些再讲授量子力学。也许有一天我会有机会再来讲授这个专题。那时我

会讲好这门课程。

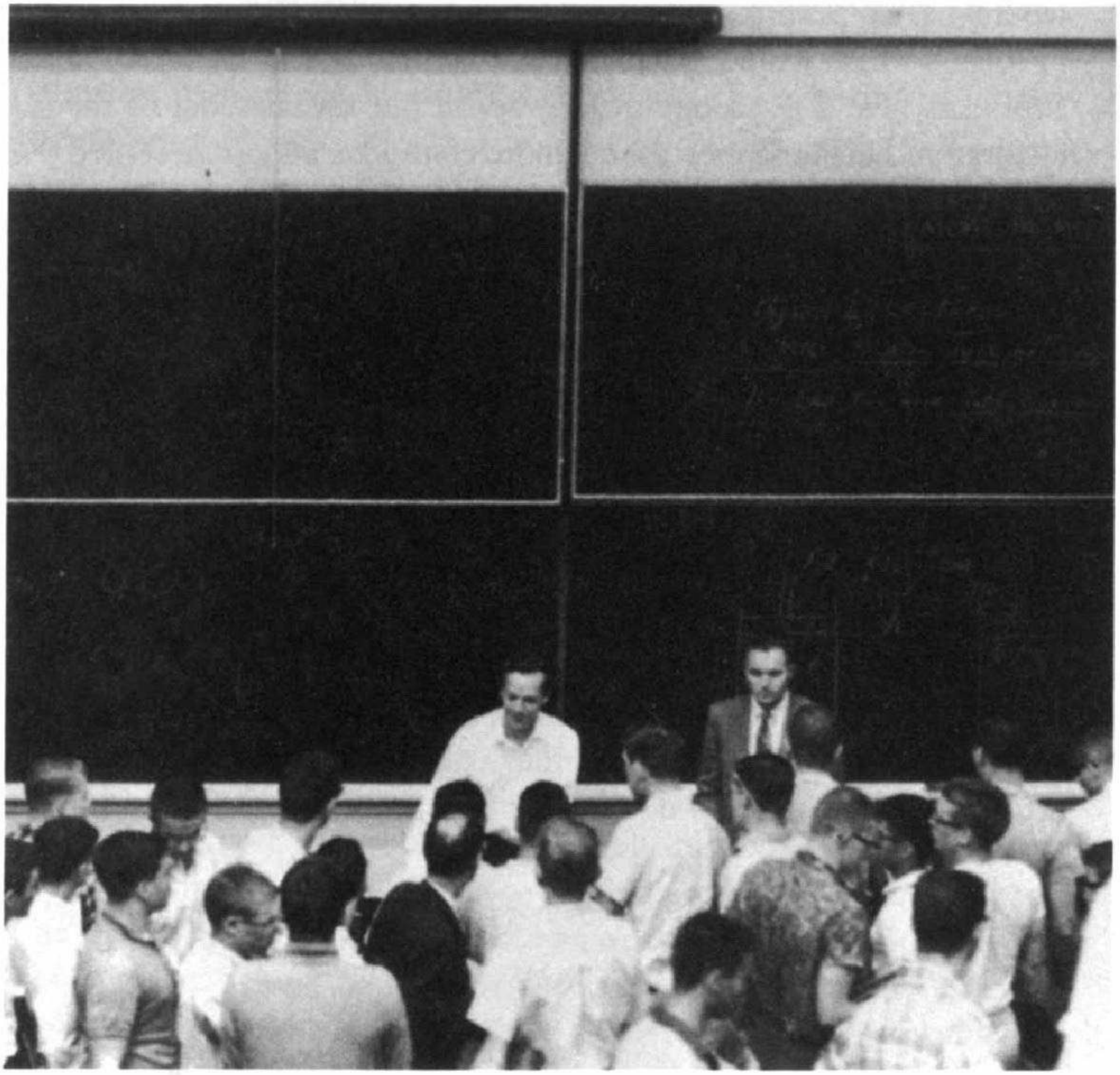
没有编写如何解题的章节是因为另有答疑辅导课。虽然我在第一年中的确讲过三次怎样解题的内容，但并没有把它们编在这本讲义中。在转动系统这部分内容后面肯定还讲过一次惯性导航的问题，可惜它被遗漏了。第五讲和第六讲实际上是由马修·桑德斯讲授的，当时我不在城里。

当然，问题是这次试验的效果究竟如何，我个人的看法——然而，与学生一起学习的大部分教师似乎并不同意这种看法——是悲观的。我并不认为我对学生做得很好。当我看到大多数学生在考试中处理问题的方法时，我认为整个这次试验是一次失败。当然，朋友们提醒我，也有那么一二十个学生——非常出人意料地——理解了全部课程中的几乎所有内容，他们还非常积极地阅读有关的材料，兴致勃勃地思考各种问题。我相信，这些学生现在已经具备了一流的物理学背景知识——他们毕竟是我想要培养的那种学生。不过，正如吉本[2]所说，“教育的威力是难得见成效的，除非教者与被教者双方是理想的组合，然而这时教育又几乎是多余的了。”

尽管如此，我并不希望让任何一个学生完全落在后面，虽然也许曾经发生过这样的事。我认为，我们能够更好地帮助学生的一个办法就是，多花一些精力去编写一套能够说明讲课中某些概念的习题集。习题提供了一个充实讲课内容的良好机会，使已经讲过的概念更实际、更完整而且记得更牢。

然而，我认为，除非我们认识到，只有当一个学生和一个优秀的教师之间建立起个人的直接联系的情况下——这时学生可以讨论概念、思考问题和讨论问题——才能达到最好的教学效果，否则没有任何办法解决教育中的这个问题。只是坐着听课，做指定的习题，是不可能学到很多东西的。不过，在现在这个时代，我们有这么多学生要教育，因此，

我们不得不试着寻找某种代替理想情况的方法。也许我的讲义能够做出一些贡献。也许在某些小地方有个别的教师和学生会从讲义中得到一些启示或者想法。也许他们乐于透彻地思考讲义的内容——或者进一步发展其中的一些想法。



第1章
运动着的原子

1-1　引言

这门两学年的物理课程，是从你，亲爱的读者，将成为一位物理学家的角度出发而开设的。当然，事情并不一定如此，但是没有哪门课的哪位教授不是这么想的！如果你要成为一个物理学家，你有大量的东西得学：这可是一个200年来发展得极其迅速的知识领域。要学的知识这么多，事实上，你会以为，在四年里也学不完；的确也学不完，你还得上研究生院接着学！

令人非常惊奇的是，尽管在这段时期里物理学家做了极其大量的工作，却有可能把这大量的成果大大地浓缩——这就是说，找出概括我们全部知识的定律。尽管如此，这些定律也是难以掌握的，因此，在你出发对这个庞大的领域进行探索之前，应当给你一幅地图或对科学的这一部门与那一部门的关系的大致了解。根据这个想法，本书的前三章将概述物理学与其他科学的关系、各门学科之间的相互联系以及科学的意义，以帮助我们对本学科找到一种“感觉”。

也许你会问，为什么我们不能这样教物理呢：一开始就列出基本定律，然后就一切可能的情况说明这些定律如何起作用，就像我们在欧几里得几何中所做的那样？在欧几里得几何中，先陈述公理，然后演绎出各种结论。（这样，如果你对用四年学习物理学不满意，你想在四分钟里学完它？）我们不能这样做，这有两个原因。首先，我们还不知道所有的基本定律：未知领域的前沿还在不断地扩张。其次，物理定律的正确陈述涉及一些很陌生的概念，而描述这些概念要用高等数学。因此，即使是要了解术语的涵义，也得经过一段相当长的预备性训练。因此，是不能这样做的。我们只能一点一点来。

大自然整体的每一片断或部分，始终只是对完整的真理（或迄今我

们所认识的完整真理）的逼近。事实上，我们知道的每件事物都只是某种近似，因为我们知道我们至今还不知道所有的定律。因此，我们之所以要学习一些东西，正是为了以后再放弃它，或者，更恰当地说，再改正它。

科学的原则（或简直可以说是科学的定义）是，实验是一切知识的检验者。实验是判断科学“真理”的惟一标准。但是知识的源泉又是什么呢？要检验的各个定律来自何处？实验本身有助于产生这些定律，因为实验给我们以提示。但是，要从这些提示概括出一般化的准则，猜测隐藏在它们下面的奇妙、简单而又陌生的图像，然后再做实验来再次检验我们猜得对不对，还需要有想像力。这个想象过程非常不容易，使得物理学中产生了分工：有一些理论物理学家，他们只管想象、推导和猜测新的物理定律，但是不做实验；还有一些实验物理学家，他们做实验、想象、推演而且猜测。

我们说过，自然定律是近似的：我们先发现“错”的定律，然后再发现“对”的定律。那么，一个实验怎么会“错”呢？首先，一个不值一说的原因是，仪器出了什么毛病，而你没有注意到。但是这类问题是容易查出的，可以反复核对。因此不要纠缠在这样的小问题上，那么，一次实验的结果怎么能错呢？只能是由于不精确。例如，一个物体的质量似乎永远是不变的：一个陀螺旋转和静止时一样重。于是一条“定律”便出台了：质量是个常量，与速率无关。现在发现，这条“定律”是不正确的。质量是随速度的增大而增大的，但是要质量有明显的增大，则要求速度接近于光速。正确的定律是：如果一个物体以小于每秒一百多千米的速率运动，其质量在百万分之一的精度内是不变的。在某种这样的近似形式下，这是一条正确的定律。因此可能会认为，新定律在实际中并不引起重大的差别。事情可能是这样，也可能不是这样。对于通常的速率，我们肯定可以不管新定律，而使用简单的质量守恒定律作为一个良好的近似。但是在高速情况下我们就错了，速率越高，错得越厉害。

最后并且最有趣的是，从哲学角度看，我们用近似定律是完全错了。即使质量只变化一点点，我们关于世界的整幅图景也不得不改变。这是关于定律后面的哲学或观念的一个非常特殊之点。即使一个非常小的效应，有时也要求我们的观念做深刻的变化。

那么，我们该先教什么呢？是先教正确但不熟悉的定律及其陌生而困难的概念，比方相对论、四维时空等，还是先教简单的“质量守恒”定律，它仅是近似的，但不包含这些困难的概念？前者更引人入胜，更奇妙，更有趣，而后者一开始更容易接受，它是真正理解前一种定律所包含的概念的第一步。在物理教学中这个问题会一再发生。在不同的时候我们将以不同的方法解决这个问题，但是在每一阶段都值得弄清楚的是，现在已经知道什么，它的精确度多高，它同别的各种事物的关系如何，当我们学得更多以后它会有什么改变。

现在，让我们按照我们对今日科学（特别是物理学，但也包括其外缘的其他学科）的理解的基本轮廓（即我们总的地图）继续前进，这样，当我们以后专注于某个具体的问题时，我们就能对它的背景有一些了解：为什么这个具体问题是有趣的，它在整体结构中的位置如何。那么，我们的世界总体图景是什么呢？

1-2　物质由原子构成

如果在某次大灾难中，所有的科学知识都将被毁灭，只有一句话能够传给下一代人，那么，怎样的说法能够以最少的词汇包含最多的信息呢？我相信那就是原子假说（或原子事实，或随便你叫它什么名字），即万物都由原子构成，原子是一些小粒子，它们永不停息地四下运动，当它们分开一个小距离时彼此吸引，而被挤到一堆时则相互排斥。只要稍微想一想，你就会看到，在这句话里包含关于这个世界的极大量的信息。

为了表明原子观念的威力，假设我们有半厘米大小的一滴水。让我们非常贴近地观察它，我们看到的只有水——光滑的、连续的水。即使我们用现有的最好的光学显微镜（大致放大2000倍左右）来放大这滴水，把它放大到10米大小——大约有一个大房间这么大，仍然非常贴近地观察它，我们将仍旧看到相当光滑的水，不过有一些小的、足球形状的东西在里面游来游去。非常好玩。这些东西是草履虫。你可能就此打住，对草履虫及其扭动的纤毛和卷曲的身体感到好奇，除了把草履虫放得更大看看它的内部之外不再往下看了。当然，这是生物学的一个题目，但是眼下让我们跳过它，继续更贴近地观察水这种物质本身，把它再放大2000倍。现在这滴水已经有20千米大了，如果我们非常贴近地看，就会看到某种挤在一堆的东西，它们不再有光滑的外表了，看起来像是从很远的距离外看到的足球比赛时场上的一堆人。为了看清这种挤在一堆的东西究竟是什么，我们再把它放大250倍，就会看到与图1-1中所示相似的某种东西。这个图是放大了10亿倍的水滴图，不过在几个方面理想化了。首先，各个粒子用简单的方式画成具有明确的边缘，这是不精确的。其次，为了简单起见，把它们画成几乎是按照一定的图式做二维排列，而实际上它们当然是在三维空间中四下运动。注意图中有两种“小斑”或圆，分别代表氧原子（黑色）和氢原子（白色），并且每个

氧原子有两个氢原子和它连在一起（一个氧原子和它的两个氢原子组成的小组叫做一个分子）。图中还有一个被理想化的地方是，自然界中的真实粒子是不断地振动着、跳来跳去、相互缠绕在一起、彼此互绕着旋转。因此你必须把这幅画面想象成动态的而不是静止的。另外一件没法在图里画出的事实是，粒子是“粘在一起”的：它们互相吸引，那一个拉着这一个，等等。可以说，整个一群都“胶合在一起”。另一方面，这些粒子也不是相互挤压。如果你试图把两个粒子挤得太靠近，它们就互相推开。

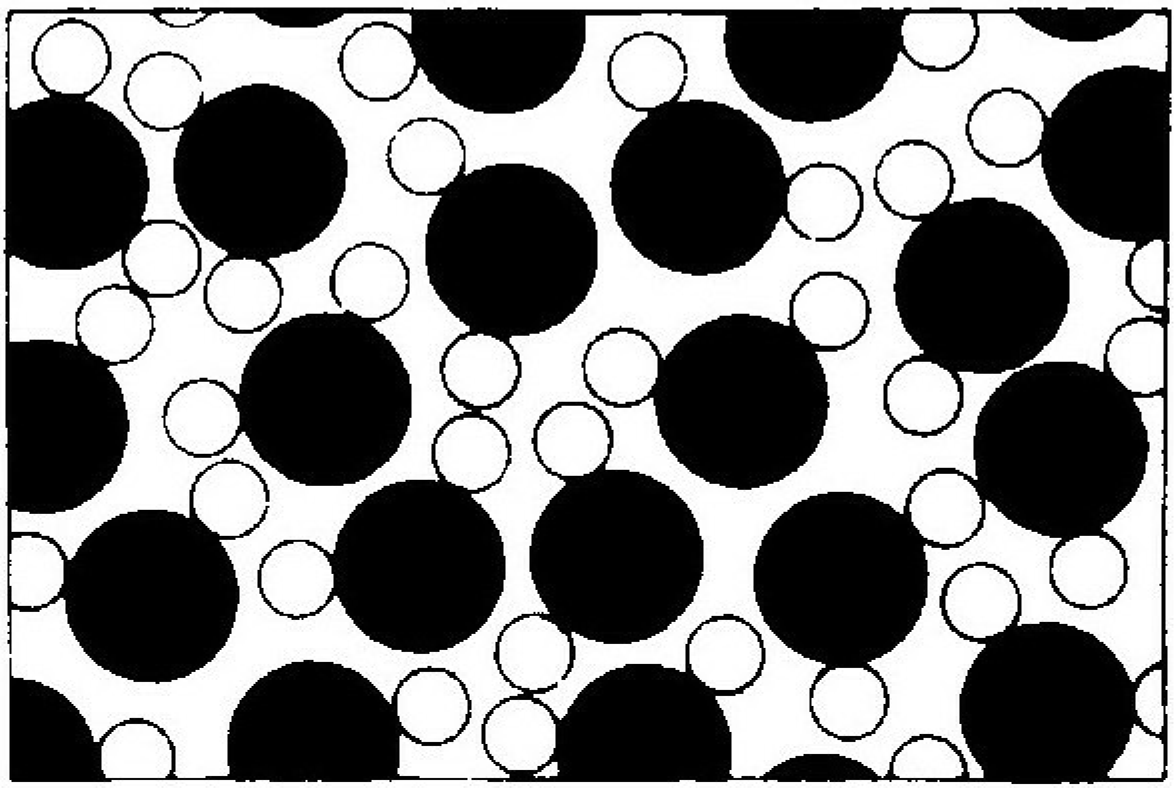


图1-1　放大10亿倍的水滴

原子的半径为1到2×10^{-8}cm。10^{-8}cm现在叫做1Å（这仅是另一个名称而已），因此我们说它们的半径是1Å到2Å。另一个记住原子大小的方法是：如果把一个苹果放大到地球那么大，那么苹果里的原子就近似是原来的苹果那么大。

现在想象这个大水滴，连同它的所有那些粘在一起、一个挨着一个、振动着的分子。水保持着它的体积；它不会散开，因为它的分子互相吸引。如果水滴是在一个光滑的斜面上，那么水会流走，但是它不会消失，分子不会飞走，因为它们之间有吸引力。分子的这种振动运动就是我们所说的热：当温度升高，这种运动也加强了。如果我们加热水，这种振动也增强，原子之间的体积也增大。如果继续加热，到了分子间的吸引力不足以把它们拉在一起时，分子就会飞走，互相分离。当然，这正是我们生成水蒸气的方法——升高温度；粒子由于运动增强了而飞走。

图1-2是一幅水蒸气的图像。这幅水蒸气图像有一个缺陷：在通常的气压下，整个房间里只可能有不多的水分子，在这幅图大小的区域里（指放大10亿倍之前）肯定不会有多至三个分子。大部分这么大的方形区域里一个分子也没有——但是我们碰巧在这张图里有两个半或三个分子（这样这张图才不会完全空白）。于是，在水蒸气的情况下，我们比在水的情况下更清楚地看到了水分子的特征。为简单起见，把水分子画成具有120°的夹角。实际上这个夹角为105°3′，氢原子中心与氧原子中心的距离为0.957Å，因此我们对这个分子已了解得很清楚了。

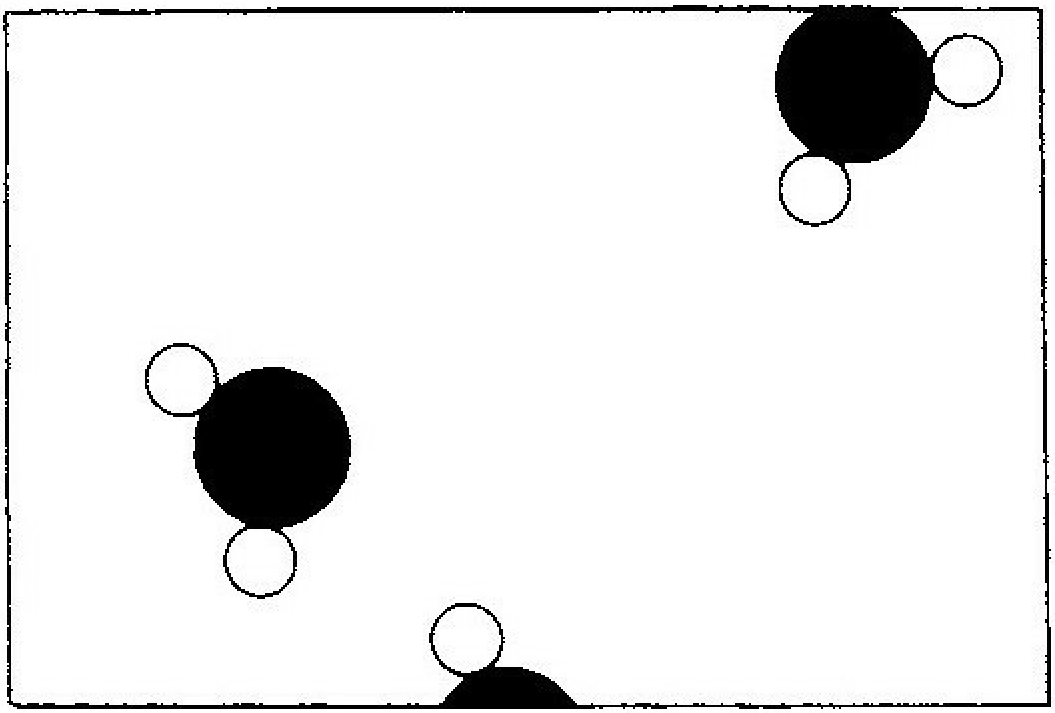


图1-2　水蒸气

我们来看看水蒸气或任何其他气体有些什么性质。这些气体分子是彼此分开的，他们会撞击墙壁并反弹回来。想象一个房间里有不少网球（成百个）不停地来回弹跳。当它们撞击墙壁时，就把墙壁向外推（当然我们必须把墙推回去）。这意味着，气体施加一个躁动不安的力，而我们粗糙的感官（我们自己并没有被放大10亿倍）只感到它的平均推力。为了把气体限制在一个范围内，我们必须施加一个压力。图1-3表示一个盛放气体的标准容器（这幅图用在所有的教科书中），一个带活塞的汽缸。因为水分子的形状在这里并不重要，为简单起见，我们把它画成网球或小黑点。它们不停地沿所有的方向运动。有这么多分子一直不断地撞击顶部的活塞，因此，为了使活塞不被这种不断的撞击从罐子里顶出来，我们就必须施加一个力把活塞压下去，这个力叫做压力（实际上，这个力等于压强乘面积）。显然，这个力和面积成正比，因为如果我们增大面积而保持每立方厘米内的分子数不变，那么分子与活塞碰撞的次数与活塞的面积按同样的比率增加。

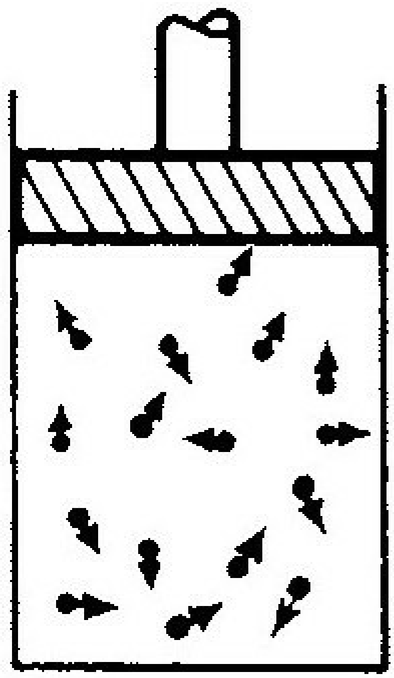


图1-3

现在我们把罐子里的分子增加一倍，因此密度也加倍，而分子的速率则相同，即温度相同。这时，作为一个很好的近似，碰撞次数也将加倍，由于每次碰撞都和以前的“力度”相同，压强和密度成正比。如果我们考虑原子之间的力的真实性质，那么由于原子之间的吸引，我们预期压强会略有减少，而由于原子也占有有限的体积，预期的压强又会略微增大。无论如何，作为一个良好的近似，如果密度足够低，原子数目不多，压强和密度成正比。

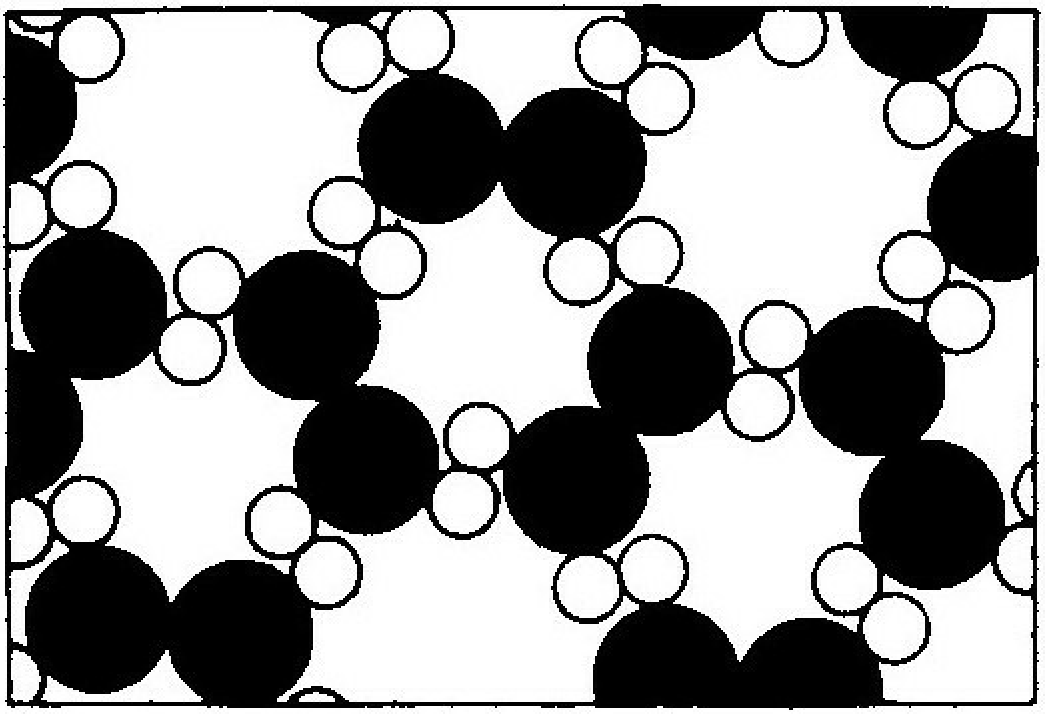
我们还可以看看别的情况：如果我们增高温度而不改变气体的密度，即，如果我们增大原子的速率，那么压强会发生什么变化呢？这时，由于原子运动得更快，它们撞击得更有力了，同时撞击得也更频繁了，因此压强增大。你瞧，原子理论的概念多么简单！

我们来考虑另一种情形。假定活塞向内运动，于是原子被缓慢地压缩到一个更小的空间里。当一个原子撞到一个运动的活塞时，会发生什

么情况？显然，原子将从碰撞获得速率。你可以试一试：例如，乒乓球从一块向前运动的球拍上弹回，你会发现，弹回的速率比打到球拍上的速率更大。（一个特例是，如果一个原子刚好静止不动而活塞撞上它，它一定动起来。）于是原子离开活塞时要比它们撞上活塞之前更“热”。因此容器中的所有原子的速率都将增大。这意味着，当我们缓慢地压缩气体时，气体的温度会升高。于是，气体在被缓慢压缩时温度升高，在缓慢膨胀时温度降低。

现在回过头来看我们的水滴，向另一个方向上看。假设我们降低水滴的温度，使水里的原子、分子的振动逐渐减弱。我们知道，原子之间是有吸引力的，因此过了一会儿，它们就不会振动得像原来那么欢了。图1-4表示的是在很低的温度下将发生的情况：分子被锁定在一种新的型式中，这就是冰。这幅具体的关于冰的图像是不正确的，因为它是二维的；但是它在定性上是正确的。有趣之点是，它的每一个原子都有确定的位置。你很容易想象，如果我们用某种方法使冰滴一端的原子排成一定的型式，每个原子都处于一个确定的位置，那么由于互相连结的结构是刚性的，在几千米之外（在我们放大的比例尺下）的另一端也会有确定的位置。因此，如果我们拿住一根冰针的一端，它的另一端就会抵抗我们想把它掰开的努力，不像水那样，水由于振动增强，使其中的原子都以各种方式四下运动，结构就破坏了。固体和液体的差别就在于，固体中的原子是按照某种阵列排列的，叫做晶体阵列，即使在长距离上它们的位置也不是随便的；晶体一端的原子的位置由晶体另一端的别的原子的位置确定，哪怕它们之间相隔几百万个原子。图1-4是一幅虚构的冰的阵列图，它不是冰的真实排列情况，虽然它包含了冰的许多正确的特征。正确特征之一是，图中有一种六角形对称性。你可以看到，如果把画面绕一根垂直轴转120°，它将回复原状。因此，冰里存在有一种对称性，这说明了雪花的六边形外貌。从图1-4可以看出的另一件事是，为什么冰融化时体积会缩小。图中示出的冰的具体的结晶图样中有许多“孔”，真实的冰的结构也是这样的。当这种组织瓦解时，这些空可

以被分子占据。绝大多数简单物质，除水和活字合金外，都在熔化时膨胀，因为在固态晶体中，原子是密集堆积的，熔化时需要更大的空间供原子活动，但是一个张开的结构则会塌缩，像水的情形。



冰

图1-4

虽然冰具有一种“刚性”的结晶形态，它的温度还是可以变化的——冰也有热量。如果我们愿意，可以改变冰的热量。对冰的情况，热量的涵义是什么？冰的原子并不是静止不动的，它们在振动着。虽然晶体中有确定的秩序——确定的结构，所有的原子仍在“原地”振动。随着我们提高温度，它们振动的幅度越来越大，直到把它们自己从所在的位置上摇下来。我们把这叫做熔化。随着我们降低温度，振动越来越弱，直到绝对零度时原子还有一个最低限度的振动，而不是完全不动。原子的这种最低的振动不足以使物质熔化，只有一个例外，那就是氦。随着温度降低，氦原子的运动尽可能地减弱，但即使在绝对零度下也仍然有足够

的运动使之不凝固。除非把压力加得足够大，使原子挤到一堆，氦在绝对零度也不凝固。如果加大压力，可以使它凝固。

1-3　原子过程

从原子的角度来描述不同的物态就讨论到这里。但是，原子假说也能描述过程，因此，我们现在从原子的观点来考察一些过程。第一个要考察的是与水的表面相联系的过程。在水的表面上会发生什么情况？设想水的表面上是空气，我们使图像变得更复杂——也更现实。图1-5表示这种情况。我们看到和以前一样的水分子，它们构成液体的水，不过现在我们也看到水的表面。在表面上方，我们发现一些东西：首先有水分子，像在蒸汽中那样。这就是水蒸气，他们总是存在于水的上方。（在水和水蒸气之间有一种平衡，我们将在以后讨论。）此外我们还发现一些别的分子——这里是两个氧原子自己结合在一起，组成一个氧分子；那里是两个氮原子也结合在一起，组成一个氮分子。空气几乎完全由氮、氧和一些水蒸气组成，此外还含有更少量的二氧化碳、氩气和其他东西。在水面上方的是含有一些水蒸气的空气。那么，在这幅画面中正发生什么事呢？水里的分子不停地振动着。时不时，水面上的一个分子受到比平常厉害一些的撞击，被撞出去了。在图中难以看出所发生的事，因为这幅画面是静态的。但是我们可以想象表面附近的一个分子刚刚被撞击，飞了出去，或者也许另外一个分子也被撞击飞出去。于是，一个分子接着一个分子，水就消失了——蒸发了。但是如果把容器盖上，过一会儿我们就会发现空气分子中有大量的水分子。时不时地，有一个水蒸气分子飞到水里，再次结合在一起。因此我们看到，这件呆板、无趣的事——一杯盖上盖子的水，摆在这里也许20年了——实际上却包含着动态的、有趣的现象，无时无刻不在进行。就我们这双肉眼而言，没看见发生任何变化，但是如果能够放大10亿倍来看，我们就会看到，从它自己的视角来看它是在不断地变化：一些分子飞出去，一些分子飞回来。

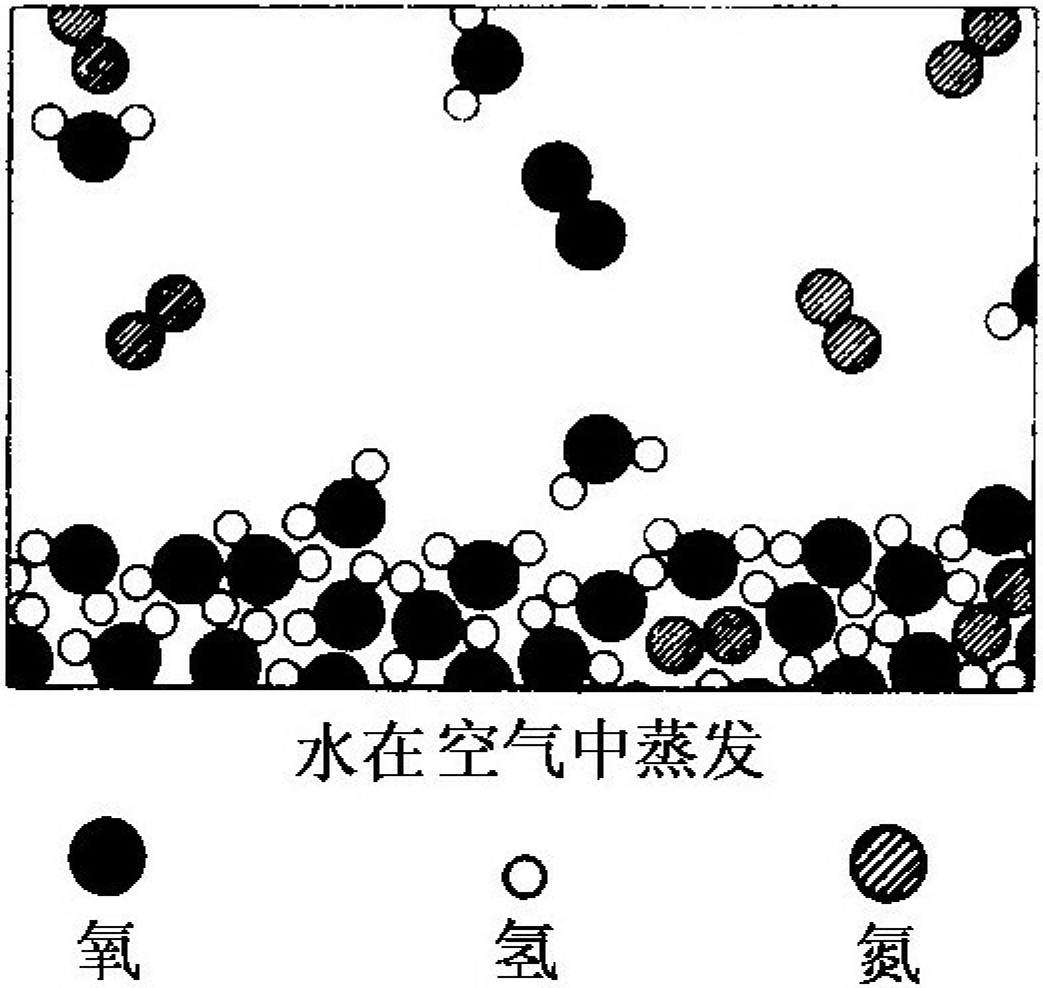


图1-5

为什么我们看不出变化呢？因为离开的分子和飞回来的分子的数目正好一样！从长期来看“什么也没有发生”。如果现在我们把容器的盖子打开，吹走湿空气而以干燥的空气代替，那么离开的分子数目还和以前一样，因为它只依赖于水分子的振动，但是飞回来的分子数则大大减少，因为水面上方的水分子少了很多。因此出去的比进来的多，水就蒸发了。所以，如果你要让水蒸发，就打开风扇！

现在讨论另一个问题：哪些分子会离开？一个分子能够离开水面，是由于它偶然积累了比平常多一点的能量，使它能够摆脱邻近分子的吸引。这样，由于离开的分子带走的能量多于平均能量，留下的分子的运

动平均起来就比原来要弱。因此液体蒸发时就逐渐变冷。当然，如果一个水蒸气分子从空气进入下面的水中，当分子靠近水面时，会突然受到一个很强的吸引。这使进来的分子的速率加大，结果产生热量。因此分子离开时带走热量；返回时产生热量。当然，如果没有净蒸发，就什么结果也不发生——水的温度不改变。如果我们在水面上吹风，使蒸发的分子数一直占优势，水就会凉下来。因此，要使汤凉就得不停地吹！

当然你应该认识到，刚才说的这个过程要比我们指出的更复杂。不只是水分子进入空气，时不时也有氧分子或氮分子进入水里，“迷失”在大量的水分子中。这样空气就溶解在水里，氧分子和氮分子尽力挤入水中，而水里将含有空气。如果我们突然从容器中抽走空气，那么空气分子从水里出来就要比进去更快，这样就产生了气泡。你可能已知道，这对潜水员是不好的。

现在我们讨论另一个过程。在图1-6中，我们从原子的角度来看固体在水里溶解的过程。如果我们把一块食盐晶体丢进水中，会发生什么事呢？食盐是固体，是晶体，是“食盐原子”的一种有组织的排列。图1-7是普通的食盐（氯化钠）的三维结构图。严格说来，晶体不是由原子构成，而是由所谓离子构成的。离子是一个带有几个额外的电子或失去几个电子的原子。在食盐晶体中，我们找到的是氯离子（带有一个额外电子的氯原子）和钠离子（少一个电子的钠原子）。离子在固体食盐中由电吸引力结合在一起，但是把它们丢到水里后，现，由于带负电的氧和带正电的氢对离子的吸引，有些离子便松开了。在图1-6中我们看到有一个氯离子松开了，而别的原子仍以离子的形式浮在水中。这幅图是颇为细心绘制的。例如，你可以注意到，水分子的氢原子一端比较倾向于靠近氯离子，而氧原子一端则多数靠近钠离子，这是因为钠离子带正电，水分子的氧端带负电，它们之间有电吸引力。从这幅图我们能够看出是盐正在溶解到水中还是从水中结晶出来吗？当然不能，因为正当某些原子离开晶体时，别的原子又重新回到晶体上。这是一个动态过程，

和蒸发过程一样；它取决于水中的食盐是多于还是少于维持平衡所需的数量。所谓平衡指的是这样的情况，这时原子离开的比率和返回的比率相同。如果水中几乎没有盐，离开的原子就比返回的原子多，盐就溶解；反之，如果水中的“食盐原子”太多，返回的原子多于离开的，盐就结晶。

顺便说一句，一种物质的分子这个概念只是近似的，只对某些种类的物质才有意义。在水的情况下，很清楚，三个原子确实结合在一起。在固体氯化钠的情况，就不那么清楚了。在氯化钠中，钠离子和氯离子仅仅按立方格子的图样排列，并没有把它们分成“食盐分子”的自然方式。

回到我们对溶解和沉淀的讨论上来。如果升高食盐溶液的温度，那么离开晶体的原子的比率会增加，但同时返回晶体的原子的比率也增加。结果就很难一般地预言过程向哪个方向进行，固体是溶解得更多一些呢还是更少一些。随着温度升高，大部分物质溶解得更多，但是有些物质溶解得更少。

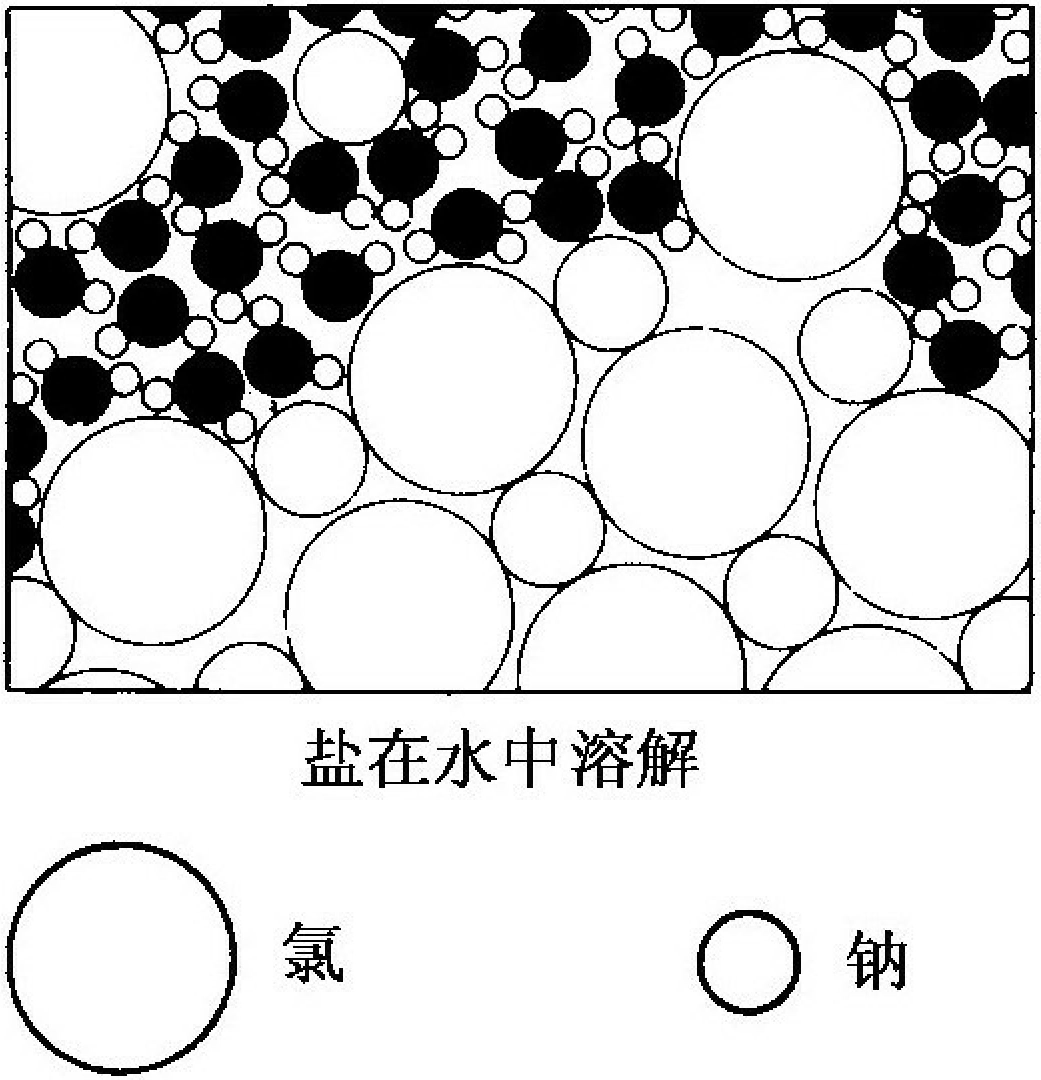
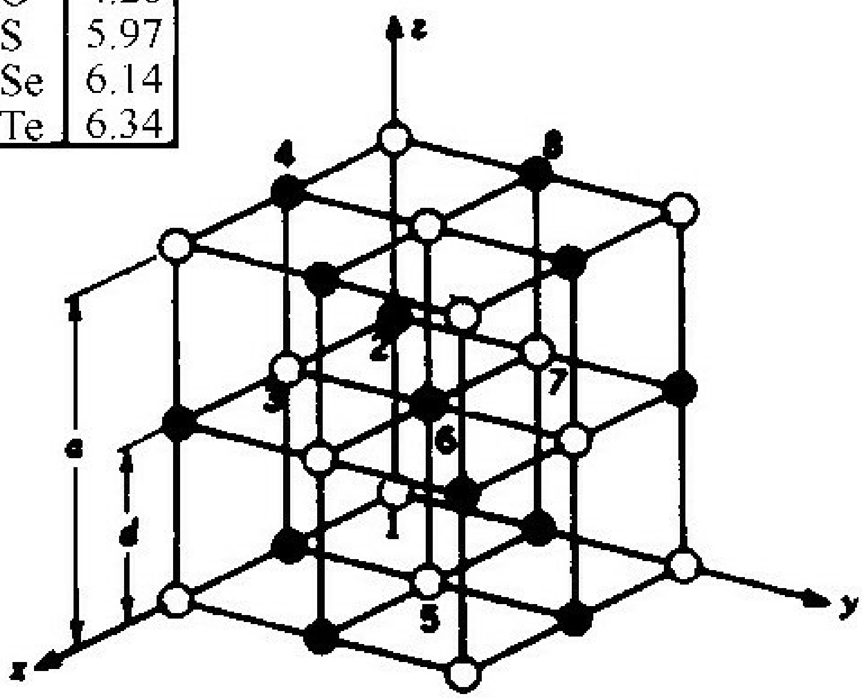


图1-6

晶体	●	○	a(Å)
岩盐	Na	Cl	5.64
钾钠盐	K	Cl	6.28
	Ag	Cl	5.54
	Mg	O	4.20
方铅矿	Pb	S	5.97
	Pb	Se	6.14
	Pb	Te	6.34



最近邻距离 $d = a/2$

图1-7

1-4　化学反应

在我们迄今讨论过的所有过程中，原子和离子都没有变换过伙伴，但是当然存在有这样的情形，原子改变其组合关系，形成新的分子。图1-8画的就是这种情况。一个过程中，如果发生了原子伙伴关系的重新安排，我们就称之为化学反应。迄今讨论过的其他过程叫做物理过程，但是二者并没有截然的界限。（大自然母亲并不在乎我们怎么称呼这些过程，她只是在不停地产生这些过程。）图1-8要表示的是碳在氧气中的燃烧。对于氧气，两个氧原子紧紧地结合在一起。（为什么不是三个甚至四个结合在一起呢？这是这类原子过程的很独特的特性之一。原子是很特别的：它们喜欢某些特定的伙伴，某些特定的方向，等等。物理学的任务就是要分析每个原子为什么想要它所要的东西。不论怎样，两个氧原子满足而且乐意地构成一个分子。）

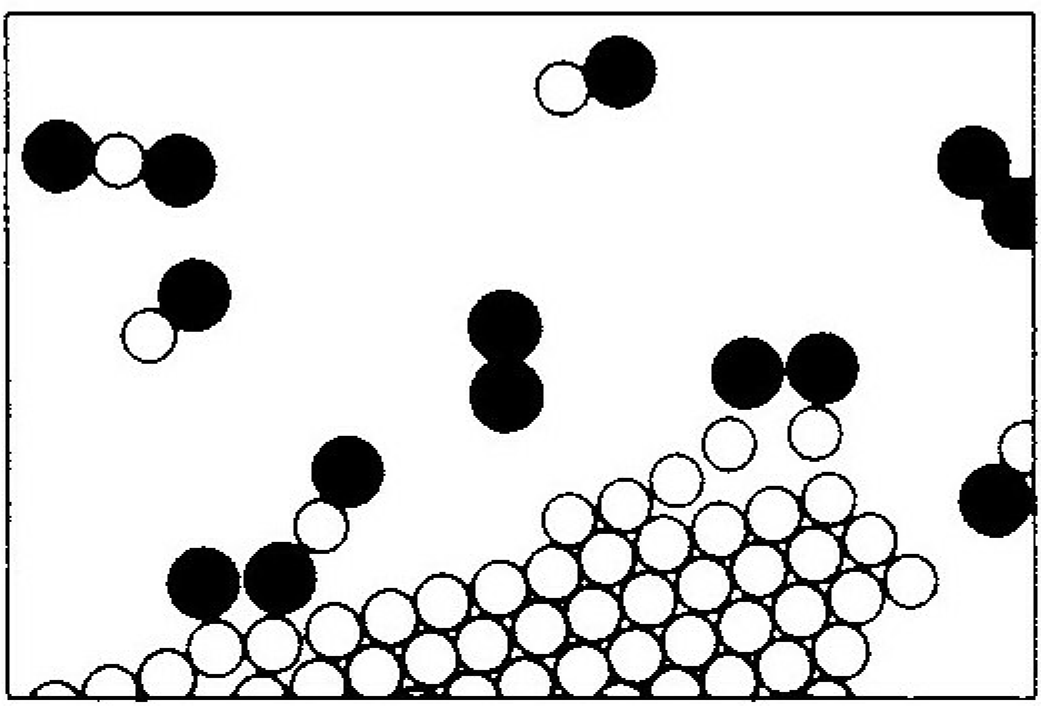


图1-8　碳在氧中燃烧

假设碳原子是在一块固态晶体中（可以是石墨或金刚石[3]）。现在，比方，有一个氧分子跑到碳这边来，每个氧原子可以结识一个碳原子，然后双双以一种新的组合形式——碳-氧（Carbon-Oxygen）组合——飞走，这是一种气体分子，叫做一氧化碳，给它一个化学符号CO。这很简单：两个字母“CO”实际上是这个分子的一幅画像。但是碳吸引氧要比氧吸引氧或碳吸引碳强得多。因此，在这个过程中，氧原子来时可以只携带很少的能量，但是氧和碳却疯狂地啮合在一起，引起巨大的骚乱，近旁的每件东西都从它那里得到能量。于是就产生了大量的分子运动的能量——分子的动能。当然，这就是燃烧；我们从氧和碳的结合中得到热量。热量通常以热气体的分子运动的形式存在，但在有些情形下，热量大到足以发光。火焰就是这样产生的。

而且，一氧化碳并不怎么感到满足。它还有能力再抓住一个氧原子，因此我们可以有一个更复杂得多的氧和碳化合的反应，在氧和碳结合时，同时又碰巧和一个一氧化碳分子相撞。一个氧原子可以把自己结合到一个CO分子上，最终形成一个新分子，它由一个碳原子和两个氧原子组成，用CO_2表示，叫做二氧化碳。如果我们在一个氧气稀少的快速反应中燃烧碳，就会生产相当数量的一氧化碳（例如在汽车发动机中，那里的爆燃快得来不及生成二氧化碳）。在许多这类化学反应中，释放出大量的能量，形成爆炸、火焰等，因不同的反应而不同。化学家研究了原子的这种重新排列，并且发现每种物质都是原子的某种排列。

为了说明这个观念，我们来考虑另一个例子。如果我们走进一个紫罗兰花圃，我们知道紫罗兰的香味。它是某种分子或原子的排列，钻进了我们的鼻子。首先，它们是怎么钻进我们的鼻子的？这很简单。如果气味是空气中的某种分子，四处乱飞并不断受到撞击，它就有可能偶然钻进我们的鼻子。它当然并没有特别想要进入我们的鼻子。它只不过是挤成一堆的分子中的一部分，在漫无目的的游荡中偶然跑到我们的鼻子里来了。

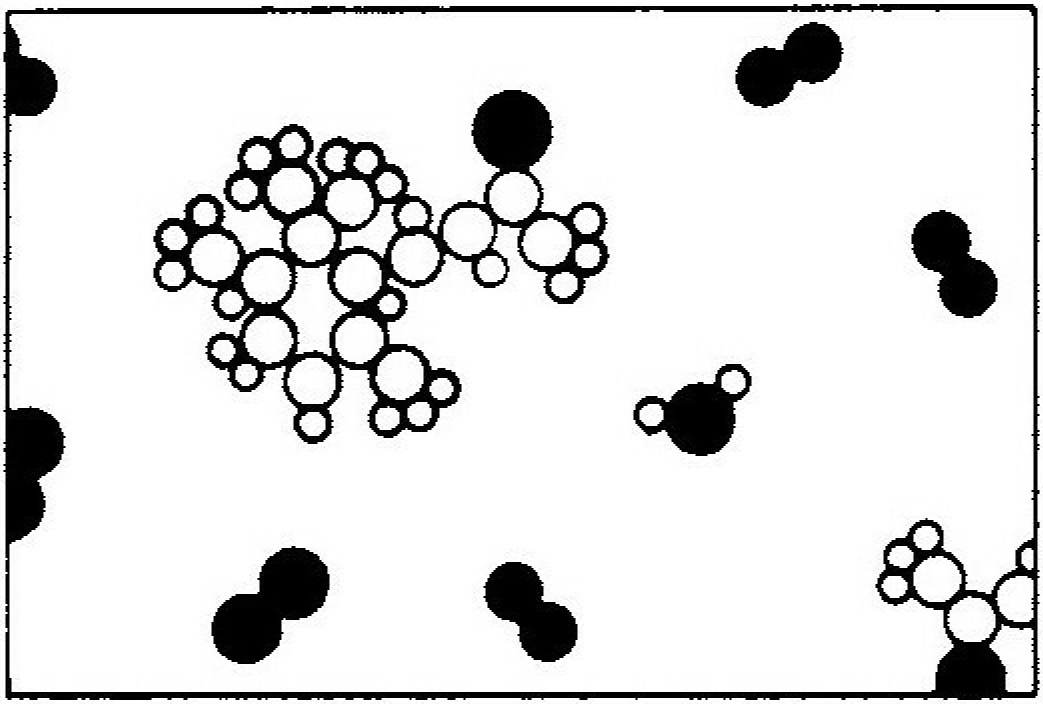


图1-9　空气中的紫罗兰分子

化学家可以把诸如紫罗兰的香味这样的具体的分子拿来，对它们进行分析，告诉我们这些原子在空间的精确排列。我们知道二氧化碳分子是直的而且对称：O—C—O[4]（这容易用物理方法确定）。即使对化学中那些极其复杂的原子排列，人们通过长期的、卓有成效的探索工作，也探明了它们的排列方式。图1-9是紫罗兰附近的空气；我们再次看到空气中有氮气和氧气，还有水蒸气（为什么有水蒸气？因为紫罗兰是湿的。所有的植物都有蒸腾作用）。但是，我们还看到一个由碳原子、氢原子和氧原子组成的“怪物”，它具有某种特殊的排列方式。这种排列方式比二氧化碳的复杂得多；事实上，这是一种极其复杂的排列。可惜，我们不能把所有已经确实知道的有关它的化学知识都画出来，因为全部原子的精确排列实际上是在三维空间里，而我们的图仅是二维的。六个碳原子组成的环不是平的，而是一种“皱起来”的环。它的所有角度和距离都已知道。因此一个化学式只不过是这样一个分子的一幅画像。当一个化学家把一个化学式写在黑板上时，可以说他是试图在二维空间

里“画”这个分子。例如，我们看到六个碳原子组成一个“环”，尾巴上挂着一条碳“链”，在链的倒数第二个碳原子上有一个氧原子，三个氢原子接在碳原子上，还有两个碳原子和三个氢原子粘在一起，等等（图1-10）。

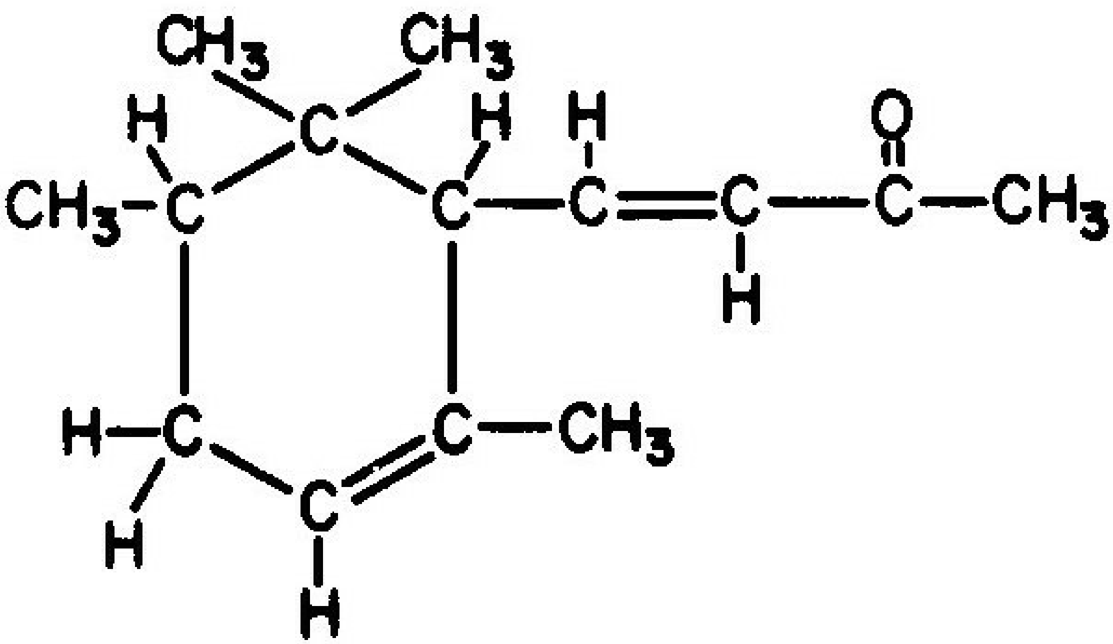


图1-10　α-鸢尾酮的结构图

化学家是怎样发现这些排列的呢？他把几瓶东西倒在一起，如果它变红色，就说明它是由在某处连在一起的一个氢原子和两个碳原子组成的；反之，如果变蓝色，就完全不是这么回事。这是曾经做过的最神的侦测工作之一——有机化学。为了发现这些极其复杂的阵列中原子的排列方式，化学家观察两种物质混合时发生的情况。物理学家从来就不太相信，化学家在描述原子的排列时真正了解他们谈论的内容。大约20年前，在某些情况下，能够用一种物理方法来观察这些分子了（没有这个分子这么复杂，而只包含它的某些部分），能够确定每个原子的位置，不是通过观察颜色，而是通过真正测量原子的所在。可是，你瞧！化学家几乎总是对的。

实际上，现在知道，紫罗兰的香味中有三种略有不同的分子，它们的差别仅在于氢原子的排列不同。

化学中的一个问题是为一种物质命名，使人们一见名字就知道它是什么东西。为这种物质取个名字看！这个名字不仅得告诉我们它的分子的形状，还必须告诉我们这里有一个氧原子，那里有一个氢原子——告诉我们每个原子的确切种类和位置。因此可以想象，为了求全，化学名称一定是很复杂的。你看！这个东西的比较完整的名称是4-（2，2，3，6四甲基-5-环己烯基）-3-丁烯-2-酮，它不仅告诉你这种东西的结构，还告诉你这是它的排列方式。我们可以理解化学家的难处，理解他们取这样长的名字自有其理由。并不是化学家有意把事情搞得晦涩难懂，而是他们在试图用词语来描述分子时遇到很大的困难！

我们怎么知道存在着原子？是用前面说过的一种策略：先假设原子存在，然后一个接着一个结果都和我们的预言相符合，如果万物真是由原子构成的话，它们就应当如此。还有更直接一些的证据，其中一个很好的例子如下：原子小得连用光学显微镜也看不见它们——事实上，用电子显微镜也看不见。（用光学显微镜只能看见大得多的东西。）但是，既然原子是在不停地运动（比方说在水中），那么，如果把一个由某种东西做的大球放进水中，这个球比原子大得多，它就会四处乱动——就像在一场推球游戏中一个大球被许多人四下乱推一样。人们向不同的方向推球，而球就在场上无规律地四处乱滚。同样，“大球”也会因为它在各个侧面所受的碰撞不相等、在不同时刻所受的碰撞也不相等而运动。因此，如果我们用一个很好的显微镜观察水中很小的粒子（胶体微粒），我们就会看到一幅粒子不停地乱动的画面，它是许多原子撞击的结果。这叫做布朗运动。

在晶体结构中，我们可以看到关于原子存在的进一步的证据。在许多情形下，由X射线分析推断出的结构与自然界中的晶体实际显示的形

状在空间型式上相符合。一块晶体的各个“晶面”之间的夹角，同假设一块晶体是由许多“层”原子构成而推断出的夹角，符合到角秒的量级。

万物都由原子构成。这是最基本的假设。例如，在整个生物学中，一个最重要的假说是，动物做的每一件事都是原子做的。换句话说，生物所做的事，没有一件不能从认为生物是由遵循物理定律而相互作用的原子构成的观点来理解。这并不是一开始就清楚的，经过一些实验和推理之后才提出这个假说；但是现在它已被人们接受，并且是在生物学领域内提出各种新观念的最有用的理论。

如果由一个原子挨着一个原子所组成的一块钢或一块食盐能够具有那样有趣的一些性质；如果水——从涓埃细滴到地球上的江河海洋——能形成波浪和泡沫，在它冲向水泥堤岸时咆哮着，掀起狂澜；如果所有这些，如果潺潺流水的全部生动，都只不过是一堆原子，那么，它们另外还能够产生多少有趣的现象呢？如果不是把原子排列成某种确定的型式，再三重复，继续不停，甚至形成一些像紫罗兰的香味一样的复杂的小东西，而是做出处处都不相同的排列，用不同种类的原子，按照多种方式，不断变化，绝不重复，那么，这样构成的东西的行为又将会多么神奇？在你面前走来走去并且和你谈话的那个“东西”，就是这样一大堆排列得非常复杂的原子，这可能吗？它的极度复杂性会改变你对它的能力的想法吗？当我们说我们是一堆原子时，我们的意思并不是我们只是一堆原子，因为一堆并非简单地一个一个重复的原子完全可以具有极为丰富而生动的可能性，只要你站在一面镜子前，就可以在镜子里看到这一点。



第2章
基础物理学

2-1　引言

在这一章里，我们要考察我们对物理学的最基本的观念，也就是我们当前所了解的事物本性。我们将不讨论我们是怎样知道这些观念都是正确的这一认识过程；在适当的时候你们会学到这些细节。

我们在科学中关心的事物有千变万化的形式和多种多样的属性。比方，如果我们站在海边眺望大海，我们会看到海水、浪花飞溅、泡沫、波涛汹涌，还有涛声、风和云、太阳和蓝天以及光线；海边有沙粒及不同硬度、年代、颜色和纹理的岩石。海里有动物和海草，饥饿和病痛；海滩上有游人，甚至还有幸福和思考。自然界的其他地方，也有类似的事物和效应的多样性，不论在哪里，都像这里一样复杂多样。好奇心使我们提出问题，使我们试图把事物综合起来，试图把这种多样性理解为或许是由比较少的基元事物和作用力以无穷多种方式组合而引起的。

例如：沙粒和岩石是两种东西吗？也就是说，也许沙粒只不过是大量的很小的石块？如果我们了解岩石，是不是也了解了沙粒和月亮？风是不是空气的流动，就和海里的水流相似？不同的运动有哪些共同的特性？有多少种不同的颜色？等等。用这种方式，我们试图逐步分析万事万物，把乍看之下很不相同的事物综合在一起，希望能够减少不同类事物的数目，从而更好地理解它们。

几百年前，人们提出了一种方法，来寻求这些问题的部分答案。这套方法由观察、推理和实验构成，我们称之为科学方法。我们将只限于对所谓基础物理学的基本观点，或由应用科学方法而产生的基本观念做一描述。

我们所谓的“理解”某一事物，究竟是什么意思呢？我们可以把组成这个“世界”的这些运动事物的复杂组合，想象成天神们下的一盘巨大的

象棋[5]，而我们是这局棋的观众。我们不知道弈棋的规则，允许我们做的就是观看这场棋赛。当然，如果我们看的时间够长，我们终归能看出几条规则来。这些弈棋规则就是我们所说的基础物理学。但是，即使我们知道每一条规则，我们也可能不懂在棋赛中为什么要走具体某一步棋，这仅仅是因为情况太复杂而我们的智力是有限的。如果你会下棋就一定知道，学会所有的规则是容易的，而要选择最佳的走法或理解人家为什么这么走则往往很难。在自然界中也是如此，只是程度更厉害，但我们至少能够发现所有的规则。实际上，今天我们还不知道所有的规则。（比方，偶尔发生的“王车易位”我们就还不懂。）除了我们还不知道全部规则之外，用已知的规则我们确实能解释的事物也是非常有限的，因为几乎所有的情况都极其复杂，我们不能用这些规则领会这盘棋的走法，更不用说预言下一步将发生什么情况了。因此，我们只能满足于弈棋规则这个比较基本的问题。如果我们知道了规则，就认为我们“理解”了世界。

如果我们不能透彻地分析这局棋，那么又怎么判别我们“猜”出来的这些规则实际上是否正确呢？大致有三个办法。第一，可能有这样的情况，大自然安排（或我们把大自然安排）得比较简单，组成部分很少，从而我们能够精确预言将要发生的事，于是可以检验我们的规则工作得好不好。（在棋盘的一个角落，可能只有不多几个棋子在走，于是我们可以精确地推算出。）

第二个检验规则的好办法，是通过由那些已知规则推导出来的更一般性的规则来检验那些规则自身。例如，国际象棋中，象在棋盘上移动的规则是只许走对角线。由此可推出，无论走多少步，开始时在红方格里的象将永远在红方格里。这样，即使我们不能弄懂细节，我们总可以通过查明它是否总是在红方格里来检验我们关于象的走法规则的概念。在一段长时间里，它当然都会在红方格里，直到我们突然发现它在黑方格里了（当然，这时发生的是这个象被俘获了，另一个卒子攻至底线升

级为象，红方格里的象就成为黑方格里的象[6]）。物理学中的情况正是这样。在一段长时间里，我们有一条总的说来工作得很好的规则，尽管我们不清楚它的细节；然后在某个时候我们可能发现一条新规则。从基础物理的角度来看，最有趣的现象当然是那些新情况，那些老规则不适用的情况，而不是老规则适用的情况！这是我们发现新规则的途径。

第三种判别我们的观念是否正确的办法比较粗糙，但可能是三种方法中最有力的，那就是粗略近似的方法。我们可能说不出为什么阿廖欣[7]要走具体的这一步棋，但是我们也许多少能大致看出，他正在把他的棋子调集到王的周围来保护它，因为这是在这种情况下该做的明智的事。同样，我们常常可以用这种理解棋局的方法来多多少少理解自然，虽然我们不能看出它的每一步是在做什么。

我们首先把自然现象粗略地分成几类，如热、电、力学、磁学、物性、化学现象、光学、X射线、原子核物理、引力、介子等。但是，其目的是把完整的自然界看成一组现象的不同侧面。这就是今天基础理论物理学面临的问题：发现实验后面的定律，把不同的门类统一起来。历史上，我们曾多次实现过这种统一，但是随着时间的推移，又有新的事实发现。我们曾统一得非常好，但是突然又冒出了X射线。随后我们统一了更多的事实，然而又发现了介子。因此，在弈棋的任何一个阶段，棋局都显得相当混乱。大量的事实被统一了，但是总是有一些线索向一切方向伸出来。这就是今天的现状，我们试图在下面加以描绘。

历史上一些统一的例子如下。首先，是热学和力学的统一。当原子在运动时，运动越剧烈，系统包含的热量就越多，因此，热和所有的温度效应可以用力学定律来说明。另一次极大规模的统一是发现了电、磁和光之间的关系，弄清楚了它们是同一事物即我们今天所称的电磁场的不同侧面。另一次统一是化学现象（各种物质的各种性质）和原子行为的统一，这发生在量子化学中。

现在的问题显然是，这种统一能不能继续进行下去，直至把万事万物都统一在一起，并且发现这个世界仅仅是一种事物的不同侧面？没人知道它的答案。我们只知道，这样做下去时，我们发现可以把一些事实统一进来，但是随后又发现一些不能纳入这个统一方案的事实，我们就继续玩这种拼图游戏。拼图的基元单位的数目是否有限，或拼图是否有个边界，都还是未知数。除非有那么一天能拼成这个图，否则我们永远不会知道这些问题的答案。现在我们要做的是，看看这个用最少的原理来理解各种基本现象的统一过程进行到什么程度了，现况如何。简单地说就是，事物是由什么构成的？有多少种基本元素？

2-2　1920年前的物理学

一下子就从现代的观点开始讨论是有些困难的，因此我们先看一下，在1920年前后事物看起来是什么样子，然后再从这幅图像中挑出几件东西来讲。1920年前，我们的世界图像大致是这样的：宇宙活动的舞台是欧几里得几何描绘的三维空间，事物在叫做时间的媒质中变化。舞台上的基本元素是粒子，例如原子，它们具有若干属性。头一个属性是惯性：如果一个粒子在运动，它将继续沿同一方向运动下去，除非它受到力的作用。于是第二个基本元素就是力，当时以为有两种：第一种力是一种极其复杂、细致的相互作用力，它以复杂的方式将各种原子结合在不同的组合中，它决定了温度升高时食盐是溶解得快些还是慢些。另一种当时已知的力是一种长程相互作用，一种变化平缓的、悄悄的吸引力，与距离的平方成反比变化，叫做万有引力。引力定律很简单，当时已为人们所知。至于为什么运动的物体会保持运动下去，为什么存在万有引力定律，当然当时还不清楚。

这里我们关心的是对自然的描述。按照原子论的观点，气体和实际上一切物质，都是大量运动着的粒子。这样，我们站在海边看见的许多事物立即就可以联系起来。首先是压强，它来自原子与器壁或别的什么东西的碰撞。原子的移动如果平均而言沿着一个方向运动，那就是风；而无规的内部运动则是热。过多的粒子积聚在一起使密度超过平均值，它们将成堆的粒子不断向外散开，这就生成了波，这种过剩密度的波就是声音。能够理解这么多的事物，这是一个重大的成就。这些事物我们在上一章里已经讲过一些。

粒子的种类有多少？当时认为有92种，因为最终发现有92种不同的原子。它们有不同的名称，不同的化学性质。

下一个问题是，短程力是什么？为什么碳原子会吸引一个或者也许两个氧原子而不是三个氧原子？原子间的相互作用的机制是什么？它是万有引力吗？不是。万有引力太弱了。但是想象一种力，它与万有引力相似，也随距离的平方成反比变化，但强得多，并且有一个重要差别：在万有引力下一切物体都相互吸引，但现在想象存在有两类“东西”，这种新力（当然它就是电力）具有同类相斥、异类相吸的性质。携带这样强的相互作用的“东西”叫做电荷。

那么，我们会得到些什么结果呢？假设我们有两个相异的、相互吸引的电荷，一正一负，紧紧地贴在一起。假设另外还有一个电荷，离它们若干距离。这个电荷会感到任何吸引吗？它实际上不会感受到任何作用，因为如果前两个电荷大小相等，那么一个的吸引和另一个的排斥会抵消。因此在任何可观的距离上的力都很小。但是，如果我们使第三个电荷与前两个非常靠近，就会产生吸引，因为同号电荷的排斥和异号电荷的吸引会使异号电荷更靠近些，并使同号电荷远离。这样排斥力就将小于吸引力。这就是由正电荷和负电荷组成的原子，在它们相隔一个可观的距离时，相互作用的力很小（除万有引力外）的原因。当它们靠近时，它们就能够互相“看到内部”，重新安排它们的电荷，结果它们之间就产生了很强的相互作用。原子之间的相互作用的终极原因是电的作用。由于这个力是如此之大，一切正电荷和一切负电荷通常会结合成一个尽可能紧密的组合。万事万物，包括我们自己，都是由极细微的、强烈地相互作用着的带正电和带负电的粒子组成，正电荷和负电荷相互抵消。偶尔，我们可以从一件东西上擦下来一点点带正电的粒子或带负电的粒子（通常擦下带负电的粒子比较容易些），这时电力不再抵消，我们就会看到电的吸引作用。

电力比万有引力到底强多少呢？考虑两粒沙子，大小为1毫米，距离30米。如果它们之间的力不被抵消，也就是说，如果所有的电荷都互相吸引而不是同号电荷相斥，因此没有抵消，那么，它们之间的力有多

大呢？有300万吨！你瞧，正电荷或负电荷的数目只要超过或不足很少一点点，就足以产生可观的电效应了。当然，这就是你（用非电学方法）看不出带电物体和不带电物体的差别的原因——涉及的粒子数目如此之少，它们很难对一个物体的重量或大小造成什么差别。

有了这幅图像，原子就比较容易理解了。人们设想在原子的中心有一个“原子核”，它带正电并且有很大的质量，周围环绕着一定数目的“电子”，电子很轻并且带负电。现在我们稍微超前一点，预先指出原子核本身也包含两种粒子：质子和中子，它们的质量几乎相同，非常重。质子带电而中子不带电。如果我们有一个原子，它的原子核里有6个质子，外面环绕着6个电子（通常的物质世界中的负电粒子都是电子，它们比组成原子核的质子和中子轻得多）。这是元素周期表中的第6号元素（或者说其原子序为6），叫做碳。第8号元素叫做氧，等等。因为化学性质取决于核外的电子，并且事实上只取决于那里有多少个电子。因此，一种物质的化学性质完全取决于一个数，电子的个数。（化学家的全部元素清单实际上可以用编号1，2，3，4，5，……来表示，我们可以不说“碳”而说“第6号元素”，意味着它有6个电子。但是当然，当元素初发现时，并不知道它可以用这种方式编号，而且这还会使事物看起来相当复杂。让这些元素各自有自己的名称和符号，这比用数字来称呼一切东西要更好一些。）

关于电力还有更多的发现。电相互作用的一个自然的解释是，两个物体简单地互相吸引，正的吸引负的。但是，后来发现，用这个概念来表示电相互作用并不恰当。对电相互作用的一个更恰当的表示是，正电荷的存在在某种意义上扭曲了空间的“状态”，或在空间产生了一种新“状态”，使得我们把一个负电荷放进来时它会感受到一个力。这个产生力的潜在可能性叫做电场。把一个电子放进电场，它就会受到一个“拉力”。于是我们就得到两条规则：（1）电荷产生一个电场，（2）电场中的电荷会受到力的作用而运动。讨论下述现象，用电场来表示电

作用的理由就更清楚了。如果我们使一个物体比如一把梳子带电，然后把一张带电的纸放在离梳子一段距离外。前后移动梳子，纸片会有反应，总是指向梳子。如果把梳子摇动得更快，就会发现纸片的运动要落后一些，即作用有所滞后。（在第一个阶段，当我们相当慢地移动梳子时，我们还看到一种并发症，那就是磁。做相对运动的电荷必定有磁作用，因此磁力和电力实际上可以归结为一个场，就像同一事物的两个不同的侧面。一个变化的电场不可能离开磁场而存在。）如果我们把带电的纸片移到更远的地方，滞后就更大。这时观察到一件有趣的事：虽然两个带电物体之间的力应当与距离的平方成反比变化，但却发现，当我们摇动一个电荷时，其影响伸展的范围要比我们乍看之下所猜想的远得多。这就是说，这个效应下降得比平方反比律慢。

这里有一个类比：如果我们在一个水池里，近旁有一个漂浮的软木塞。用另一个软木塞划水，可以直接使前一个软木塞运动。如果你只注意看两个软木塞，你将会看到一个软木塞的运动是对另一个的运动的立即响应——两个软木塞之间有某种“相互作用”。当然，实际上我们所做的是搅动水，然后水再去扰动另一个软木塞。我们可以建立一条“定律”：如果轻轻地划动水，水里邻近的物体就会运动。当然，如果第二个软木塞离得更远，它就几乎不动，因为我们只是局部地搅动水。反之，如果我们使软木塞上下运动，就发生一种新现象，水的运动带动了周围的水，形成了向外传播的波，因此通过上下运动，就有一种影响范围大得多的效应，波的效应，它无法从直接相互作用的观点理解。因此直接相互作用的观念必须代之以通过水发生作用的观念，或者在电的情况下，代之以所谓的电磁场。

电磁场能够传送范围广泛的波；其中的一部分是光波，别的则用在无线电广播中，它们总的名字是电磁波。这些振荡的波可以有各种频率。一种波与另一种波的惟一真正的差别就在于振荡的频率。如果我们把一个电荷摇动得越来越快，看它产生的效应，我们将得到整整一系列

不同的效应，它们由一个数，即每秒钟的振荡次数，统一在一起。建筑物墙上的电线中的电流产生的“干扰信号”的频率大约是每秒100次。如果我们把频率增加到500赫兹或1000千赫兹，那就是无线电广播所用的频率范围。（英文中“正在广播”是on the air，当然广播和空气（air）毫无关系！没有任何空气在真空中也可以进行无线电广播。）如果我们再度提高频率，我们就进入了调频广播和电视所用的波段。频率进一步增高就是短波，例如雷达用的波。频率再高，就不需要仪器来“看”这些波了，我们可以用肉眼来看。在5×10^{14}～5×10^{15}赫兹的频率范围内，我们的眼睛能够看见带电梳子的振荡，只要我们能够把梳子摇得这么快。我们将看到红光、蓝光或紫光，依它们的频率而定。低于这个范围的频率叫做红外光，高于这个范围的叫紫外光。从一个物理学家的观点看，我们能够看见特定频率范围内的波这一事实，并不使这一段电磁波谱比别的波段更特别，但是从一个人的观点看，当然这个波段更令人感兴趣。如果频率再高，我们就得到X射线。X射线不是别的，只不过是频率很高的光。频率再高，就得到γ射线。X射线和γ射线这两个名称，几乎是当作同义语来使用。通常把从原子核发出的电磁波射线叫做γ射线，而从原子发出的高能电磁波则叫做X射线，但是不论它们起源在哪里，当它们的频率相同时，它们在物理上是无法分别的。频率更高的波，比方说10^{24}赫兹，我们可以人工生成，比方用我们加州理工学院的同步加速器。在宇宙线中，我们可以发现频率极高的波，其振荡频率甚至更快1000倍。这些波我们还不能控制。

表**2-1**　电磁波谱

频率（赫兹）	名　称	大致行为
10^2	电干扰	场
$5\times10^5\sim10^6$	无线电广播	波
10^8	调频—电视	波
10^{10}	雷达	波
$5\times10^{14}\sim10^{15}$	光	波
10^{18}	X射线	粒子
10^{21}	γ射线(原子核)	粒子
10^{24}	γ射线(“人工”)	粒子
10^{27}	γ射线(宇宙线中)	粒子

2-3 量子物理学

在描述了电磁场的概念和了解电磁场能够传送波之后，我们很快就知道，这些波的行为实际上十分奇特，很不像一个波。在比较高的频率上它们的行为更像是粒子！正是在1920年后发现的量子力学解释了这种奇特的行为。在1920年前的那几年，爱因斯坦已经改变了把空间看作三维空间、把时间看作与空间分离的单独存在的图像，首先是把空间和时间组合在一起，叫做时-空，然后更进一步用弯曲的时-空表示万有引力。于是，宇宙的舞台就变为时-空，而引力则可认为是时-空的一种改变。然后又发现，关于微小粒子运动的法则是不正确的，在原子世界里，“惯性”和“力”的力学法则——牛顿定律是错的。相反，人们发现，小尺度上事物的行为与大尺度上的事物毫无相似之处。这给物理学带来了困难，也带来了饶有兴趣的挑战。之所以说是困难的，因为事物在小尺度上的行为方式是如此“违背常理”；我们对它没有任何直接经验。这里事物的行事方式与我们已知的任何事物都不相像，因此除了解析方法外，用任何别的方法来描述这种习性是不可能的。它是困难的，得有丰富的想象力。

量子力学中有许多新想法。首先，它不再允许一个粒子既有确定的位置又有确定的速度；它认为这个观念是错误的。为了表明经典物理学怎么错了，看下面的例子。量子力学中有一条定则是，不可能同时既知道一样东西在什么地方，又知道它运动得多快。动量的不确定量和位置的不确定量是互补的，二者的乘积是常数。我们可以把这条定律写成$\Delta x\Delta p\geq h/2\pi$，后面会对它做更详细的说明。这条定则解释了下面这个非常神秘的佯谬：如果原子是由正电荷和负电荷组成的，它们相互吸引，那么为什么负电荷不是干脆掉到正电荷上，彼此完全抵消呢？为什么原子有这么大？为什么原子核稳坐中央而电子环绕着它？开始曾以为，原子核就有这么大；但是不然，原子核非常小。一个原子的直径大约有

10^{-8}cm，原子核的直径只有约10^{-13}cm。如果我们有一个原子并希望看到原子核，那么我们必须把原子放大到一间大房子那么大，这时原子核才刚刚是可以用眼睛分辨出来的一个小斑点，但是几乎原子的全部重量都集中在这个无比小的原子核上。是什么原因使电子不掉进去呢？就是上面这条定理：如果电子都掉进原子核，我们就知道它们的精确位置，于是不确定原理就要求它们具有一个非常大（但34是不确定）的动量，也就是一个很大的动能。有了这个能量，电子就将摆脱原子核。于是它们达成一个妥协：电子为这种不确定性给自己留下一点空间，同时按照这条定则以最小的运动量振动着。（记得我们前面说过，当一块晶体冷却到绝对零度，它的原子并不停止运动，仍然在振动。为什么？因为如果原子停止振动，我们就会知道它们的精确位置同时知道它们的运动速度为零，而这是违反不确定原理的。我们不能同时知道它们的位置和它们运动的速度，因此它们必须在那里不断地扭动。）

量子力学带来的另一个科学观念和科学哲学上的最为有趣的变化是：在任何情况下都不可能精确预言将会发生的事情。例如，我们有可能使一个原子处于准备发光的状态，也能够通过探测光子来测量一个原子已经发光（这很快就会讲到）。但是，我们无法预言它将在什么时候发光，或者在有几个原子的情况下，哪个原子会发光。你也许会说这是因为有某种内部的机制在起作用，这种内部机制我们还没有足够靠近地观察过。不，没有什么内部机制，按照我们今天的理解，大自然的行事方式是，从根本上就不可能精确预言在给定的一个实验中究竟会发生什么事。这是一种很糟糕的事；事实上，哲学家以前曾说过，科学的基本要求之一就是，只要有相同的条件，就一定会发生相同的事。这并不正确，它不是科学的一个基本要求。事实上，并不发生相同的事，我们能得到的只是所发生的事的一个统计平均。不过，科学并没有因此而完全崩溃。顺便说一句，哲学家对科学绝不可少的条件说过很多，但是人们看到，他们说的都相当天真，有时甚至是错的。例如，这个或那个哲学家说，科学工作的一个基本要求是，如果在一个地方，比方说斯德哥尔

摩，做一个实验，然后在另一个地方比方说基多[8]做同一个实验，一定会得到同样的结果。这完全是错的。科学并不必然是这样；这可能是一个经验事实，但是并不必然如此。例如，如果一个实验是观察天空，那么在斯德哥尔摩会看到北极光，而在基多却看不到；这两个结果就不同。“但是”，你说，“这件事与室外的情况有关；你能把自己关在斯德哥尔摩的一间黑房子里，把窗帘拉下来，这样也能找到什么区别吗？”肯定能。如果我们把一个摆挂在一个万向节上，把它拉起一个角度，再放开它，那么摆就会几乎在一个平面内摆动，但是不严格在一个平面内。在斯德哥尔摩，摆动平面会慢慢转动，而在基多则不会。在基多窗帘也是拉下来的。这件事的发生并没有带来科学的毁灭。科学的基本假设、它的基本哲学到底是什么？我们在第一章就说过，实验是检验任何观念的正确性的惟一标准。如果发现大多数实验在基多给出的结果和在斯德哥尔摩做出的结果一样，那么这些“大多数实验”就会用来抽象出某个普遍定律，而对那些结果不同的实验，我们就会说这是由斯德哥尔摩附近的环境引起的。我们将会发明某种方法来概括实验的结果，而不必让人家事先告诉我们这种方法是怎样的。如果有人告诉我们，同样的实验总是产生同样的结果，那很好；但是如果我们试过之后发现并不是这样，那就不是这样。我们仅仅必须接受我们所看见的，然后通过我们的实际经验来形成我们其他的观念。

再回到量子力学和基础物理学上来。当然，现在我们还不能详细讲述量子力学原理，因为它们不容易懂。我们将假定已经有了这些原理，然后讲讲它们的某些结果。结果之一是，我们习惯于视为波的事物也具有粒子的习性，而粒子也具有波的习性。事实上万事万物的行为都是这样，不存在波和粒子的区分。因此量子力学把场及其波的概念和粒子的概念统一起来，成为一个统一体。的确，当频率低时，现象的场的一面更明显，或者是一种更有用的通过日常经验对现象的近似描述。但是随着频率增高，对于我们通常用来进行测量的仪器，现象的粒子的一面就变得更明显。实际上，虽然我们提到过许多频率，但是迄今并没有探测

过任何直接涉及10^{12}赫兹以上频率的现象。我们只是根据一条假定量子力学的波-粒二象性成立的定则，从粒子的能量推出更高的频率的存在。

于是我们对电磁相互作用就有了一种新看法。我们有了一种新粒子，加入到电子、质子和中子的行列中。这种新粒子叫做光子。这种对电子和质子之间的相互作用的新看法叫做量子电动力学，它就是电磁理论，但是其中一切内容在量子力学上都是正确的。它是光与物质之间相互作用，或电场与电荷之间相互作用的基础理论，是物理学中迄今最成功的理论。在这个理论中，我们得到了除万有引力和原子核过程外一切通常现象的基本法则。例如，从量子电动力学得出了全部已知的电学、力学和化学定律：弹子球碰撞的定律，导线在磁场中运动的定律，一氧化碳的比热，霓虹灯的颜色，食盐的密度，氢和氧发生反应生成水，它们全都是这个新理论的推论。如果情况足够简单，使我们能够做出近似，就能推出所有这些细节；当然情况几乎永远不会如此简单，但是常常我们多少能够理解所发生的事情。迄今为止，在原子核之外我们还没有发现量子电动力学定律有例外，而在原子核里，我们不知道是否有例外，因为我们还不清楚原子核里发生的过程。

于是，在原则上，量子电动力学就是全部化学和生命科学的理论——如果生命科学最终可以归结为化学，从而也就归结为物理学的话，因为化学已经归结为物理学（与化学有关的那一部分物理学早就知道了）。不止如此，量子电动力学这个伟大的理论，还预言了许多新的事实。首先，它说明了甚高能光子、γ射线等的性质。它还有另一个重要的预言：在电子之外，还应当存在另外一个质量相同，但是电荷反号的粒子，叫做正电子，这两种电子碰到一起时，会彼此湮没而发射光或γ射线。（归根结底，光和γ射线是一回事，只是频率不同。）这个事实的推广，即每一种粒子都有一种反粒子，也被发现是正确的。在电子的场合，反粒子有另一个名称——正电子，但是对别的粒子，其反粒子就

叫做反什么什么子，像反质子、反中子。在量子电动力学中，引进了两个数值，认为世界上大部分其他数值都可以从这两个数值推导出来。这两个基本数值就是电子的质量和电子的电荷。实际上，事情并非完全如此，因为化学中还有一套数据，告诉我们不同的原子核有多重。这就把我们引向下一题目。

2-4　原子核和粒子

原子核是由什么组成的，它们又是怎样结合在一起的？我们发现，原子核是靠极大的力结合在一起的。把原子核松绑时会放出巨大的能量，它与化学能量之比同原子弹爆炸与TNT炸药爆炸之比相同，这是当然的，因为原子弹与原子核内的变化有关，而TNT的爆炸与原子外层的电子的改变有关。问题是，这种把质子和中子在原子核里结合在一起的力到底是一种什么力？汤川秀树（Yukawa）提出，正像电相互作用可以和一种粒子——光子联系起来一样，中子和质子之间的力也有某种场存在，这个场振动起来时其行为像是一个粒子。因此世界上除了质子和中子以外还可能有一些其他的粒子，并且他能从已知的核力特征推出这些粒子的性质。例如，他预言，这种粒子的质量应当是电子质量的两三百倍；而你瞧，在宇宙线里，发现了一个质量是这个数值的粒子！不过后来发现这个粒子不是汤川预言的粒子。它叫μ介子或μ子。

但是，没过多久，在1947年或1948年，发现了另外一个粒子，π介子或π子，它满足汤川的判据。这样，除了质子和中子外，为了得到核力，我们还必须加上π子。于是你说：“真棒！有了这个理论，我们就可以像汤川想的那样用π子建立起量子核动力学了，看它行不行，如果行，万事万物都可以解释了。”但是很倒霉，后来发现，这个理论包含的计算极困难，没有人能够从这个理论算出什么结论并用实验来检验它。现在差不多已20年了，情况一直如此。

因此我们被这个理论难住了，我们不知道它到底是对还是错，但是我们知道它的确有点毛病，至少是不完备。正当我们在理论上徘徊不前，试图从这个理论算出一些结果时，实验物理学家却发现了一些东西。例如，他们已经发现了μ介子或μ子，但是在理论中却没有它的地位。另外，在宇宙线里，还发现了大量其他“额外”的粒子。今天我们已

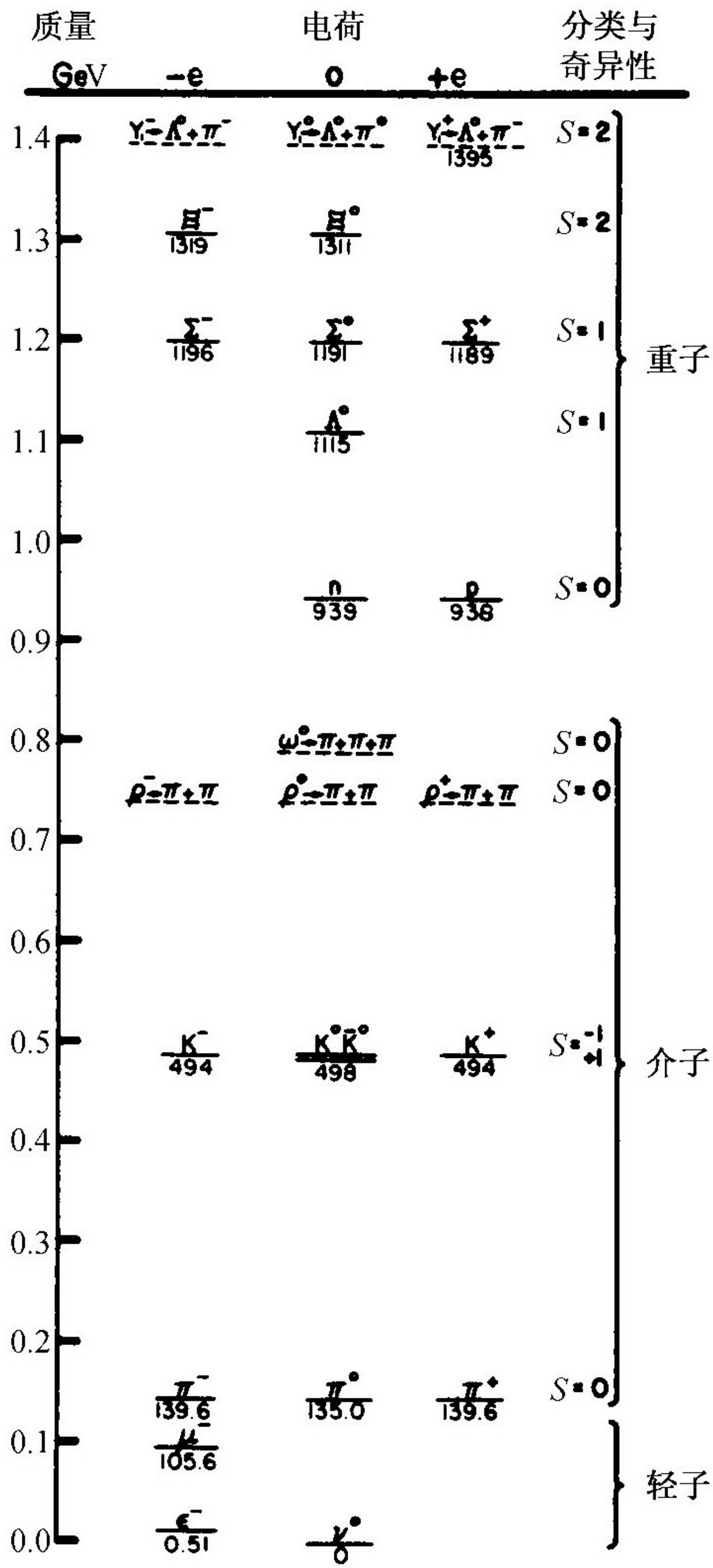
经知道大约有30种粒子，很难理解所有这些粒子之间的关系：大自然要这些粒子做什么？这个粒子和那个粒子有什么联系？今天我们还不能把这些粒子理解为同一事物的不同的侧面，我们有这么多互不关联的粒子的事实本身，就表明我们还缺乏一个良好的理论，来说明这么多互不关联的信息[9]。在量子电动力学的巨大成功后，我们已有了一定的原子核物理学知识，但这些知识是粗糙的、半经验半理论的，它假设质子和中子之间的力为某一类型，然后看会有什么结果，而不真正理解力的来源。除了这些之外，我们取得的进展就很少了。在化学方面，我们曾有过大量的化学元素，突然间，元素之间显现出我们未曾预期的关系，具体说就是门捷列夫周期表。比方，钠和钾的化学性质大致相同，它们在门捷列夫周期表里就处于同一列中。我们一直在为新粒子探寻这种门捷列夫式的表。一张这样的新粒子表是美国的盖尔曼和日本的西岛各自独立提出的。他们的分类的基础是一个新的数，叫做“奇异性”S，每个粒子都有一个S值，就像电荷一样。在核力引发的过程中，粒子的奇异性也像电荷一样是守恒的。

在表2-2中列出了所有的粒子。在这里我们无法对这个表详做讨论，但这个表至少会告诉你还有多少是我们所不知道的。在每个粒子下面给出它的质量，单位为MeV（兆电子伏）。1 MeV等于1.782×10^{-27}克。选用这个单位是由于历史原因，我们这里不去说它。质量越大的粒子排在表中越高的地方；我们看到，中子和质子的质量几乎相同。在竖直的每一列中的粒子有相同的电荷，所有的中性粒子在同一列里，所有带正电的粒子在这一列的右边，所有带负电的粒子在其左边。

在表中，粒子用实线表示，而虚线表示的则是“共振态”。表中略去了几个粒子，它们包括重要的零质量、零电荷的粒子，即光子和引力子，它们不属于重子—介子—轻子的分类框架之内；还包括一些较新的共振态（K*，Φ，η）。在表中列出了介子的反粒子，但是轻子和重子的反粒子则不得不列在另一张表中，它看起来正好是这张表对于中间的

零电荷列的左右反演。虽然除了电子、中微子、光子、引力子和质子之外的所有粒子都是不稳定的，但在表中只列出了共振态的衰变产物。轻子没有奇异数，因为它们与原子核没有强作用。

表**2-2**　基本粒子



质量
GeV
电荷
−e
0
+e
分类与
奇异性
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1395
Ξ⁻
1319
Ξ⁰
1311
Σ⁻
1196
Σ⁰
1191
Σ⁺
1189
Λ⁰
1115
n
939
p
938
K⁻
494
498
K⁺
494
π⁻
139.6
π⁰
135.0
π⁺
139.6
μ
105.6
e⁻
0.51
γ⁰
0
S=2
S=2
S=1
S=1
S=0
S=0
S=0
S=0
重子
介子
轻子

所有与中子和质子放在一起的粒子统称重子，有以下几种：Λ粒子，质量为1115　MeV；三个别的粒子，叫负∑子、中性∑子和正∑子，它们的质量几乎相同。粒子分成一组一组或多重态，同一组中的成员的质量几乎相同，只差百分之一到百分之二，并且奇异数相同。第一个多重态是质子—中子二重态，然后是Λ子单重态，再往后是∑子三重态，最后是Ξ二重态。最近，在1961年，又发现了几个粒子。但是它们是粒子吗？它们的寿命如此之短，几乎刚一形成就蜕变了，我们不知道是应当把它们看做新粒子呢，还是应当看成它们的蜕变产物Λ子和π介子之间具有某一确定能量的“共振”相互作用。

重子以外的卷入核相互作用的粒子叫介子。首先是π介子，它有三种形态：正、负和中性；它们组成另一个多重态。我们还发现了某些新粒子叫做K介子，它们是一个二重态，K^+和K^0。而且，每个粒子都有其反粒子，除非一个粒子是它自身的反粒子。例如π^+和π^-互为反粒子，但π^0是自身的反粒子。K^-和K^+互为反粒子，K^0和$\overline{K^0}$也互为反粒子。此外，1961年又发现了一些介子或可能的介子，它们几乎刚一形成就蜕变。其中一个叫ω的具有780MeV的质量，它蜕变为三个π介子，还有一个不太确定的东西蜕变为两个π介子。以上这些叫做介子和重子的粒子，以及介子的反粒子，都放在同一个表中，但是重子的反粒子则必须放在另一个表中，后一表是前一表对零电荷列的“反射”。

门捷列夫的周期表很完善，除了有一些稀土元素挂在外面。同样，也有一些粒子挂在我们这个表之外，这些粒子并不在原子核里强烈地相互作用，它们与核作用无关，没有强相互作用（指核能的强有力的相互作用）。这些粒子叫做轻子，有以下这些：电子，它的质量很小，只有0.510　MeV。还有一个，μ介子或μ子，它的质量大得多，是电子的206倍。我们所能说的是，根据迄今所有的实验，电子和μ子之间的惟一差别仅在于质量。μ子的一切方面都和电子完全相同，除了μ子比电子重。

为什么有一种更重的粒子？它有什么用？我们不知道。此外，还有一个中性的轻子，叫做中微子，它有零质量。事实上，现在知道有两种不同的中微子，一种与电子有关，另一种与μ子有关。

最后，我们还有两种粒子，它们与核子没有强相互作用：一种是光子，另一种也许是具有零质量的引力子——如果引力场也有一个量子力学理论的话（量子引力理论还没有建立），就应当有这样一种粒子。

什么是“零质量”？这里说的质量是粒子静止时的质量。一个粒子具有零质量意味着它不能静止。光子是永远不会静止的，它总是以每秒300000千米的速度运动。当我们在适当的时候学了相对论以后，我们对质量就会懂得更多一些。

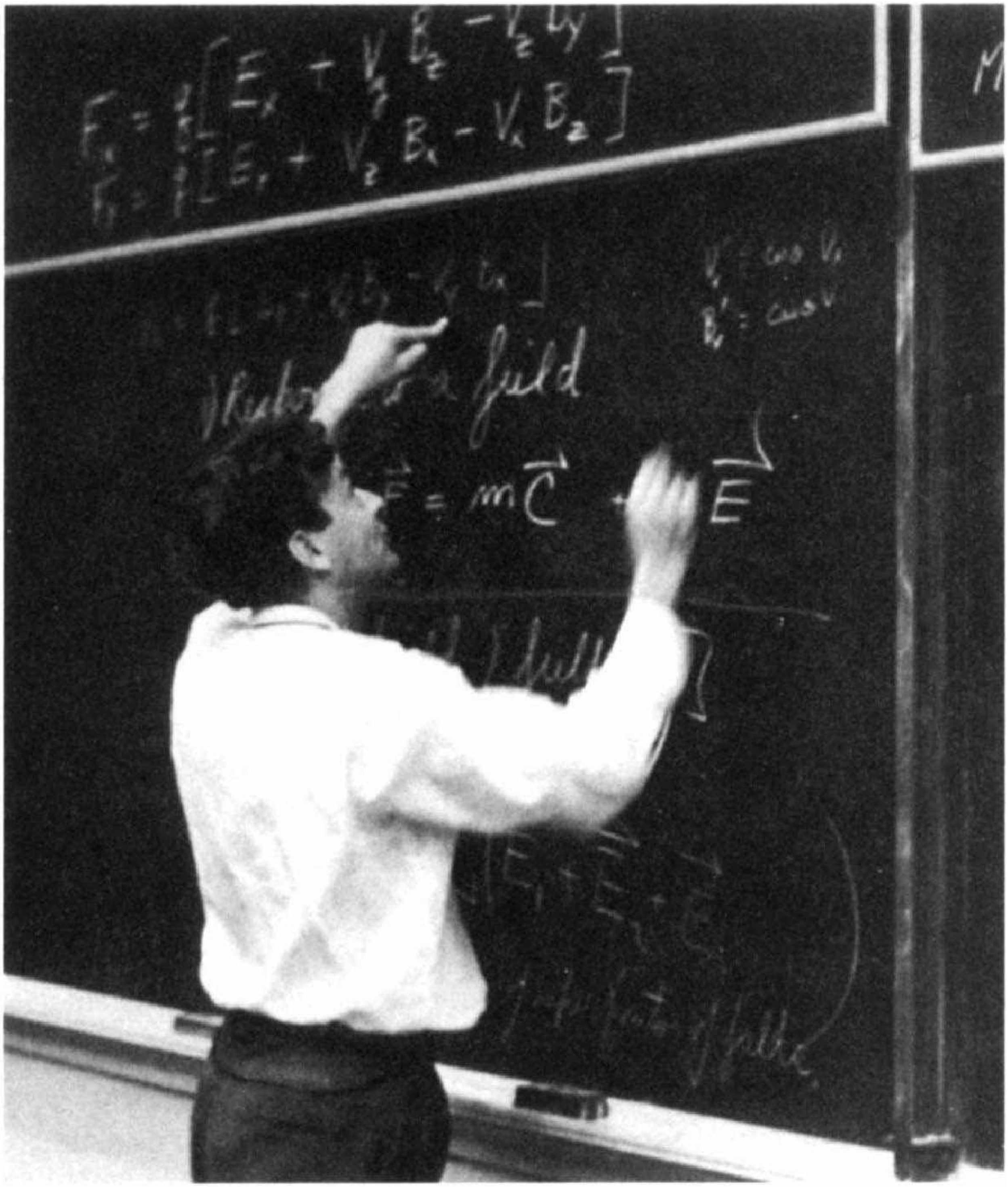
这样，我们就面对着一大群粒子，它们合起来像是物质的基本组分。还好，这些粒子在它们的相互作用中的行为并不是全都不同的。事实上，粒子之间的相互作用似乎仅有四种，按照强度减小的顺序，它们是：核力，电相互作用，β衰变相互作用和引力。光子与所有的带电粒子相耦合，其相互作用的强度用一个数1/137来量度。这种耦合的详细定律已经知道了，那就是量子电动力学。引力同一切能量相耦合，但耦合强度极弱，比电作用弱得多。引力的定律也已经知道了。然后是所谓弱作用——β衰变了，它使中子相对缓慢地蜕变为质子、电子和中微子。它的定律还只是部分知道。所谓强相互作用即介子-重子相互作用之强度为1，它的定律还完全不知道，虽然已有了一些已知的定则，比方重子数在任何反应中不变。

表**2-3**　基元相互作用

耦合种类	强度*	定律
光子与带电粒子	$\sim 10^{-2}$	已知
引力与一切能量	$\sim 10^{-40}$	已知
弱作用	$\sim 10^{-5}$	部分知道
介子与重子	~ 1	还不知道（已知某些定则）

*“强度”是每种相互作用中的耦合常数的无量纲量度（～意味着“近似于”）

这就是今天物理学面临的情况。总结一下，我可以这样说：在原子核外，看来什么都知道了；在原子核里面，量子力学是成立的——还没有发现量子力学的原理在那里失效。我们要说，积聚我们知识的舞台是相对论性时-空，引力或许就包括在时-空中。我们不知道宇宙是怎样开始的，我们从未做过实验，在某个小距离以下精确检验过我们关于空间和时间的概念，因此我们只确知，我们的概念在大于那个距离的尺度上是成立的。我们还应当加上，这场弈棋的规则是量子力学的原理，就我们迄今所知，这些原理像适用于已知的老粒子一样适用于新发现的粒子。核力的起源导致我们发现新粒子，但是糟糕的是，新发现的粒子太多了，我们缺乏对它们的相互关系的完整理解，虽然我们已经知道它们之间存在一些非常出人意外的关系。我们看来是在摸索着前进，逐步接近对亚原子世界的理解，但是我们确实不知道，为完成这个任务我们还得走多远。



第3章
物理学与其他学科的关系

3-1 引言

物理学是最基础的、包罗万象的学科，它对整个科学发展有过深远的影响。事实上，物理学是过去所称的自然哲学在今天的等当物，现代科学的大部分来自于自然哲学。由于物理学在一切自然现象中所起的基础性作用，许多领域内的学生都发现自己在学习物理学。在本章中，我们将试图说明其他学科中有哪些基础性问题，但是，在这么一点篇幅内，当然不可能真正讨论这些其他领域内的复杂、微妙和美丽的内容。缺少篇幅也使我们不能讨论物理学与工程、产业、社会和战争之间的关系，甚至不能讨论数学和物理学之间的最引人注目的关系。（在我们看来，从数学不是一门自然科学的意义上来说，数学并不是一门科学。它的正确性不是用实验来检验的。）顺便说一句，我们必须从一开始就讲清楚，一件事情不是科学，这并不一定是坏事。例如，爱就不是科学。因此，如果说什么事不是科学，这并不意味着这件事有什么错；这仅仅意味着它不是科学。

3-2　化学

受物理学影响最深的科学也许就是化学了。在历史上，化学早期的内容几乎完全是今天所称的无机化学，即与生物体无关的物质的化学。为了发现许多元素的存在和它们的关系——即它们怎么组成岩石、泥土等中的种种简单的化合物，曾进行过大量的分析。早期的化学对物理学是非常重要的，这两门学科之间的相互作用非常之大，因为原子理论在很大的程度上是由化学实验证实的。化学理论，即关于化学反应本身的理论，在很大的程度上被总结在门捷列夫的周期表中，周期表揭示了各种元素之间的许多奇特的关系，它是构成无机化学的种种定则的汇总：哪一种元素可以和哪一种元素化合、怎样化合，等等。所有这些定则最终在原则上得到量子力学的解释，因此理论化学实际上就是物理学。但是，必须强调，这种解释只是原则上的。我们已经讨论过知道弈棋规则和会下棋之间的区别。我们可以知道规则，但是下得不怎么样。我们发现，要精确预言某一化学反应的结果是非常困难的；但无论如何，理论化学最终的归宿是在量子力学中。

还有一门由物理学和化学共同发展起来的极其重要的分支学科，那就是把统计学方法应用于力学规律起作用的场合，这个分支被贴切地称为统计力学。在任何化学场合下，都包含有大量的原子，而我们已经看到，原子总是在以非常无规和复杂的方式不断地振动。如果我们能够分析每一次碰撞，并且能够跟踪每个分子运动的细节，我们或许能够计算出会发生什么，但是要跟踪所有这些分子所需要的大量数据，将会远远超出任何计算机的容量，当然也会超出人脑的容量，因此重要的是要开发一种方法来处理如此复杂的情况。统计力学便是关于热现象或热力学的学科。无机化学作为一门科学，现在实质上已归结为物理化学和量子化学；物理化学研究的是反应的速率和发生的详细情况（分子如何碰撞？哪些碎片先飞走？等等），而量子化学则帮助我们通过物理定律来

理解所发生的事。

化学的另一个分支是有机化学，与生物体有关的物质的化学。人们曾一度相信，与生物体有关的物质是如此神奇，它们是不可能用人工方法从无机物制得的。事情完全不是这样——有机物完全可以像无机化学中的物质那样用人工制得，只是包含的原子排列更复杂。有机化学显然同提供有机物的生物学、同工业有密切的关系，并且物理化学和量子力学的许多内容可以像应用于无机物一样应用于有机物。但是，有机化学的主要内容并不是在这些方面，而是在分析与合成生命系统中、生物体中形成的物质。这样，我们就在不知不觉中被逐步带到生物化学，进而被领入生物学本身，或分子生物学。

3-3 生物学

这样我们就进入了生物学，研究生物体的科学。在生物学的早期，生物学家限于进行纯粹的描述性工作，找出有哪些生物体，所以他们要做的便是诸如此类的事，像数数跳蚤脚上有多少根毛之类。在以很大的兴趣做完这些事之后，生物学家们进而考虑生物体内部的机制，起初当然是以比较粗略的观点，因为要掌握详情细节是需要经过一番努力的。

物理学和生物学之间早期的关系中曾有过一件有趣的事：生物学帮助物理学发现了能量守恒定律。迈耶（Mayer）在关于生物吸收和放出的热量的问题上首先显示了能量守恒。

只要我们更细致地观察动物的生物学过程，就会看到许多物理现象：血液的循环、心脏的跳动、血压等。还有神经：当我们踩在一块尖石头上，我们知道发生了什么事，信息不知用什么方式从脚底传了上来。信息是怎样传递的是很有趣的。生物学家通过对神经的研究，得出了这样的结论：神经是纤细的小管子，有非常薄而复杂的管壁；细胞通过这层管壁抽运离子，管外有正离子而管内有负离子，就像个电容器一样。这层薄膜有一个有趣的性质：如果它在某个地方“放电”，即有一些离子通过这个地方，使这里的电压减少，那么这样造成的电效应就会让邻近的离子感觉到，影响邻近地点的薄膜，使它也让离子通过。这又依次影响到越来越远的地方，于是就出现一个波，它是薄膜的“可渗透性”的变化，当神经纤维的末梢由于踩到尖石头而受到“激发”后，它就沿着神经纤维传播。这个波有点像一长列竖立的多米诺骨牌，当末端的一个被推倒，它就将邻近的一个带着推倒，等等。当然，这只能传递一个信息，除非把所有的多米诺骨牌重新扶起来排好；同样，在神经细胞中，也有把离子缓慢地重新排出的过程，使神经为下一个脉冲做好准备。就是这样一个过程让我们知道我们正在做什么（或至少让我们知道

我们在什么地方）。当然这个与神经脉冲有关的电效应可以用电子仪器检测到，而且，由于有电效应存在，关于电效应的物理学对理解这种现象显然很有帮助。

反过来的效应是从大脑中某处沿着神经送出一个信息。这时在神经末梢发生什么情况呢？神经在这里分成纤细的分支，与肌肉纤维附近的一个叫做终板的结构连接。由于一些现在还不完全理解的原因，当脉冲到达神经末梢时，会射出一小团叫做乙酰胆碱的化学物质（每次5到10个分子），它们影响肌肉纤维，使它收缩——这多么简单！什么使肌肉收缩呢？肌肉是由大量紧挨着的纤维组成的，含有两种不同的物质：肌球蛋白和肌动球蛋白，但是由乙酰胆碱引发的化学反应为什么能够改变分子的大小，其机制现在还不清楚。因此在肌肉中引起机械运动的基本过程现在还不清楚。

生物学的领域是如此广阔，有大量的问题我们根本无法触及，这包括视觉的机制（光在眼睛里干了些什么）、听觉的机制等问题（思维进行的机制将在后面心理学一节中讨论）。可是，从生物学的观点来看，我们刚才讨论的这些关于生物学的事情实际上并不是基础性的，并不是生命的根本，即使我们理解了它们，我们还是不理解生命本身。举个例子：研究神经的人认为他们的工作是很重要的，因为毕竟不论什么动物都有神经。但是没有神经仍然可以有生命。植物既没有神经也没有肌肉，但是它们照样生存着，照样活着。因此对生物学的基本问题，我们必须看得更深刻一些。如果我们这样看，我们就会发现，所有的生物体有许多共同的特征。最普遍的特征是它们都是由细胞组成的，在每个细胞内都有发生化学反应的复杂机制。例如，在植物细胞中有利用光生成淀粉的机制，淀粉在黑暗中又消耗掉以维持植物的生命。当植物被动物吃掉后，淀粉在动物体内产生一系列化学反应，这些化学反应同植物体内的光合作用（及其在黑暗中的反向作用）有很密切的关系。

在生命系统的细胞内，有许多复杂的化学反应，在反应中一种化合物变成另一种化合物，再变成另一种化合物。为了对生物化学研究中做出的巨大努力有一些印象，我们在图3-1中总结了迄今为止所知道的在细胞中发生的化学反应的很小一部分（大约只占细胞中的全部化学反应的1%）。

这里我们看到一系列的分子，它们在由一串不多几步构成的循环中从一种变成另一种。这个循环叫做克雷布斯循环[10]或呼吸循环。从分子里发生的变化来看，每种化合物和每步反应都不复杂，但是这些反应在实验室里却相对地难以完成——这是生物化学中一个非常重要的发现。如果我们有一种物质和另一种很相似的物质，前者并不顺当地转变成后者，因为二者之间通常隔着一个能量障碍或“位垒”。考虑这样一个比方：如果我们想要把一个物体从一个地方挪到另一个地方，两个地方在同一海拔高度上，但是隔着一座小山。我们可以把它推过山顶，但是就需要若干附加的能量。因此大多数化学反应都不会发生，因为有一种所谓活化能横亘在它们之间。为了在一种化合物中增加一个额外的原子，需要使这个原子和该化合物挨得足够紧，这样才能发生某种重新排列，然后它才会结合到那个化合物上去。但是如果我们不能给它足够的能量使它足够靠近，这个反应就不会完成，原子只会爬上这座“山”的山腰然后又退回来。可是，如果真的能够把分子拿在手中，把它的原子扒拉来扒拉去以使得出现一个缺口，让新原子进来，然后再把缺口很快堵上，那么我们就找到了另一个办法，即绕过小山，这就不需要额外的能量，而反应就容易进行。在细胞里实际存在一种很大的分子，比我们刚刚描述过其变化的分子大得多，这种大分子以某种复杂的方式使较小的分子处于正好的状态，使得反应容易发生。这些大而复杂的分子叫做酶。（它们起初叫做酵素，因为是在糖的发酵过程中发现的，事实上克雷布斯循环最初找到的一些反应都是在发酵中发现的。）有酶存在时反应就会进行。

酶是由另一种叫做蛋白质的物质构成的。酶分子大而复杂，每种酶都不同，用来控制特定的反应。在图3-1中的每个反应上写出了有关的酶的名称。（有时同一种酶可以控制两个反应。）我们强调，酶本身并不直接参与反应。它们并不变化，只是让一个原子从一个地方挪到另一个地方。做完以后，它又准备好对下一个分子做同样的事，就和工厂里的机器一样。当然，得要有供应原子的源和处置其他原子的方法。以氢为例：有几种酶，其上具有特殊的单元，能在一切化学反应中运送氢原子。例如，有三四种脱氢酶，在我们整个循环的不同地方要用到。有趣的是，在一个地方释放某些氢原子的机制，将取走这些氢原子并用到别的地方。

图3-1的循环中，最重要的是GDP（二磷酸鸟嘌呤核苷）到GTP（三磷酸鸟嘌呤核苷）的转变，因为它们之中一种物质的能量比另一种物质多得多。正像在某些酶中有一个运送氢原子的“盒子”一样，也有特殊的运送能量的“盒子”，这包括三磷酸基。因此，GTP具有比GDP更多的能量；如果反应朝某个方向进行，我们就制造出具有额外能量的分子，这些分子能够驱动另一种需要能量的反应，比如肌肉的收缩。如果没有GTP，肌肉就不会收缩。我们可以拿一些肌肉纤维放在水里，往水里加GTP，如果存在合适的酶，肌肉纤维就收缩，GTP就变为GDP。因此真实的系统是处于GDP-GTP转变中；在晚上，GTP积存起来，而白天则用掉，使整个循环往另一个方向进行。你看，酶并不在乎反应往哪个方向进行，否则就会违反一条物理学定律。

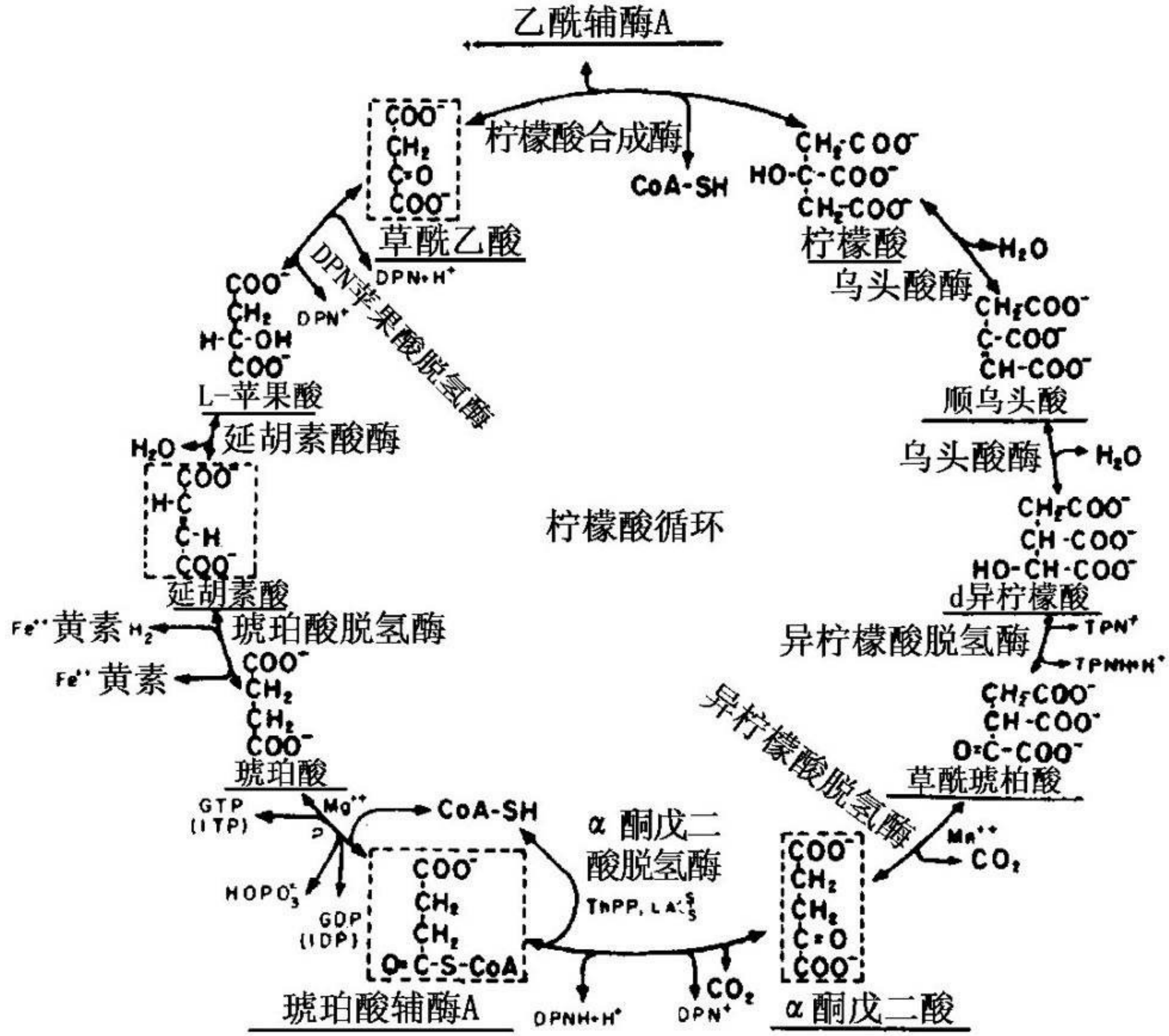


图3-1　克雷布斯循环

物理学在生物学和其他科学中极其重要，还有另一个原因，这同实验技术有关。事实上，如果没有实验物理学的巨大发展，今天就不可能知道这些生物化学循环图。这是因为，分析这个极为复杂的系统的最有用的工具，就是对反应中用到的原子加标记。于是，如果我们可以把一些上面有“绿色标志”的二氧化碳引入循环中，然后在3秒钟后测量绿色标志在什么地方，然后在10秒钟后再测量绿色标志在什么地方，等等，我们就可以追踪反应的过程。什么是“绿色标志”呢？它们是不同的同位素。我们还记得，原子的化学性质是由电子的数目决定的，而不是由原

子核的质量决定的。但是，比方说碳，碳原子核中，和一切碳核都有的6个质子在一起，可以有6个中子或者7个中子。在化学上，两种原子^{12}C和^{13}C是相同的，但是它们的质量不同，核的性质不同，因此是可以辨别的。利用这些不同质量的同位素，或甚至利用像^{14}C这样的放射性同位素（它提供了更灵敏的追踪微量物质的手段），就能够追踪反应的进程。

现在，我们回过头来描述酶和蛋白质。所有的蛋白质并不都是酶，但是所有的酶都是蛋白质。有许多种蛋白质，比如肌肉中的蛋白质，结构蛋白质，它们存在于诸如软骨、头发、皮肤等之中，这些蛋白质本身并不是酶。但是，蛋白质是非常有特征的生命物质：首先，它们组成了所有的酶；其次，它们构成了大部分其余的生命物质。蛋白质具有很有趣而简单的结构。它们是一串不同的氨基酸，或一条氨基酸链。共有20种不同的氨基酸，它们都能互相组合形成链，其中的骨架是CO-NH等。蛋白质不是别的，正是各种不同氨基酸组成的链。每种氨基酸可能是用于不同的具体用途。例如，有些氨基酸在某个地方有一个硫原子；当同一蛋白质分子中有两个硫原子时，它们就形成一个键，也就是说，它们在这两点上把链接起来形成一个环。另一个氨基酸有额外的氧原子，这使它成为酸性物质；还有一种则有碱性特征。它们之中有一些在一旁挂着一个巨大的原子团，从而占据很大的空间。有一种叫做脯氨酸的氨基酸实际上不是氨基酸，而是亚氨基酸。它们有些小区别，结果当链里含有脯氨酸时，链就会有一个扭结。如果我们想要制造某种具体的蛋白质，就应当遵照这些规则：在这里放一个硫钩；再加上某种东西占据空间；然后再添上某种东西使链有一个扭结。这样，我们就将得到一条样子复杂的链，它钩连在一起，具有某种复杂的结构；这大概就是所有各种酶生成的方式。从1960年以来我们获得的一个重大胜利是终于弄清楚了某些蛋白质中原子的精确空间位置，这些蛋白质里排着大约56到60个氨基酸分子。在两种蛋白质的复杂图样中已经定位了1000个以上的原子（如果把氢原子也算进来就接近2000个原子）。第一种是血红蛋白。这

个发现的一个不尽如人意之处是，我们并不能从这幅图样中看出任何东西；我们不理解为什么它具有那样的性能。当然，这是有待解决的问题。

另一个问题是，酶怎么知道该成为什么？一只红眼蝇生出一只小红眼蝇，因此产生红色素的全部酶组的信息必定从一代传给下一代。这是由细胞核中一种叫做DNA（去氧核糖核酸的缩写）的物质完成的，它不是蛋白质。这种关键物质由一代细胞传给下一代细胞（例如，精细胞主要由DNA构成），并且携带着如何生成酶的信息。DNA是一张“蓝图”。这张蓝图是什么样子？它怎么工作？首先，这张蓝图必须能够复制它自己。其次，它必须能够给蛋白质下指令。谈到复制，我们也许会以为这个过程像细胞的复制一样。细胞是简单地长大然后分裂成两半。那么，DNA分子也必须这样长大然后分裂成两半吗？每个原子肯定不会长大并分成两半！不，只有通过某种更聪明的方法，才能复制出一个分子来。

对DNA的结构已经研究了很长一段时期了，首先用化学方法求出它的成分，然后用X射线方法求出它的空间图样。结果得到下述重大发现：DNA分子是一条双链，彼此缠绕在一起。这条链与蛋白质链类似，但化学成分完全不同。每条链的骨架是一系列糖和磷酸基，如图3-2所示。于是我们看出这条链怎么能够包含指令了，因为如果我们能够把这条链从中间劈开，我们就会得到一个序列BAADC……而每一种生物可以有一个不同的序列。因此，制造蛋白质的特定指令也许以某种方式包含在DNA的特定序列中。

附在沿着链的每一个糖分子上，并且把两条链连结在一起的，是一些交叉连结对偶。它们并不都属于同一种，我们且管它们叫A,　B，C,D。有趣的是，它们两两配对，只有同一对中的两个才能坐在一起，比如A和B是一对，C有四种，分别叫做腺嘌呤、胸腺嘧啶、胞嘧啶和鸟嘌

吟，但和D是一对。这些对偶这样放置在两条链上，使它们“彼此对合”，具有很强的相互作用能。然而C不会和A相配，B也不会和C相配；它们只会配成对偶，A对B，C对D。于是如果一个是C，另一个就一定是D，如此等等。不论一条链上有些什么字母，在另一条链上同样位置的必定是其对偶字母。

那么复制是怎么回事呢？假定我们把这条双链从中间切开成两条单链。我们怎么能制出和原来完全一样的另一半呢？如果在细胞的物质里有一个制造部门，它产生出磷酸盐、糖和没有连成一条链的A、B、C、D单元，那么将要添加到我们劈裂的单链上的只会是正确的对偶单元，BAADC……的互补的对偶体ABBCD……于是实际过程是这样的：当细胞分裂时，链也从中间分开，一半最终和一个细胞在一起，另一半则跟着另一个细胞；在分离之后，每条单链都生成一条新的互补的另一半。

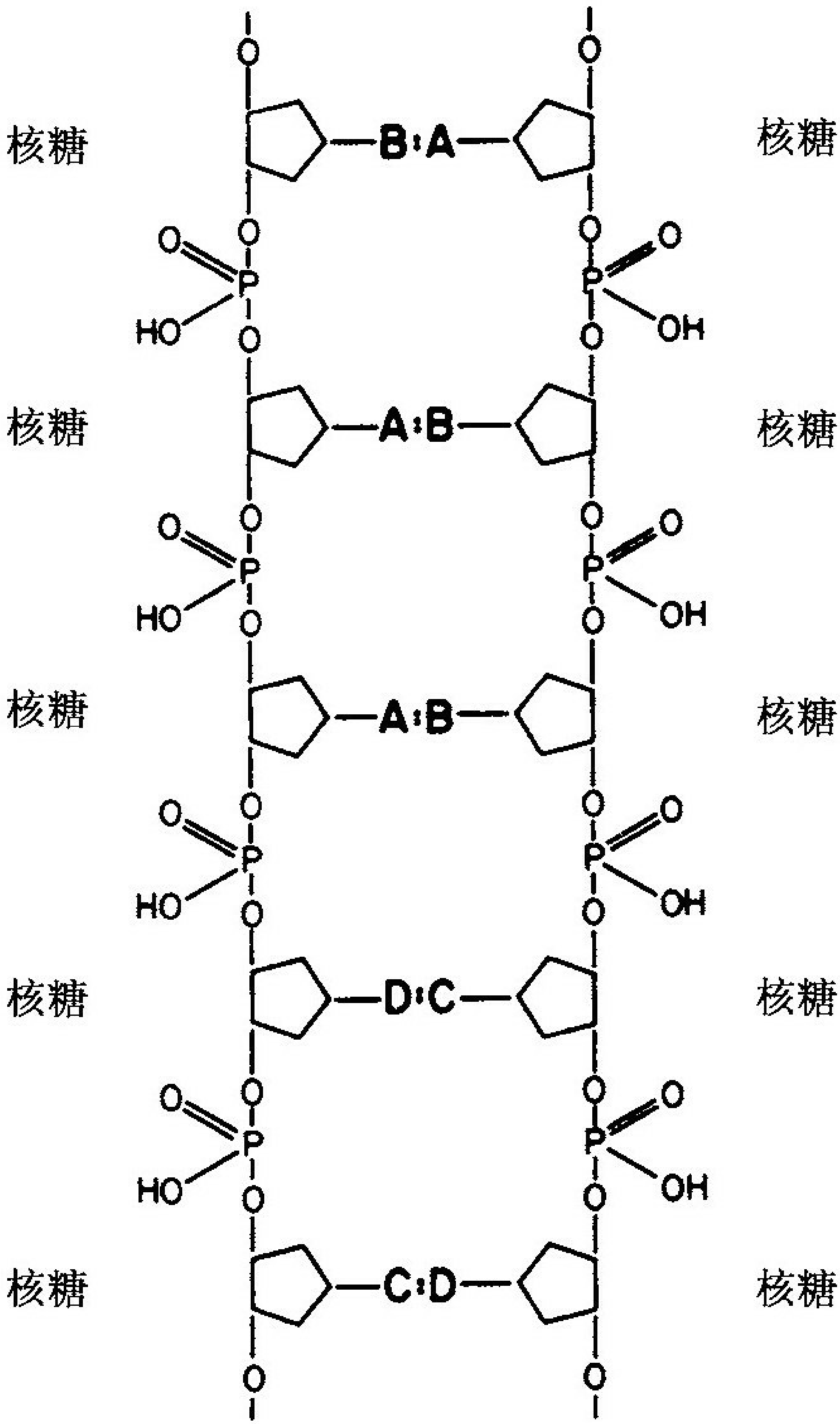

核糖
B:A
核糖
O
P
HO
O
OH
核糖
A:B
核糖
核糖
A:B
核糖
核糖
D:C
核糖
核糖
C:D
核糖

图3-2　DNA结构示意图

接下来的问题是，精确地说，A、B、C、D的顺序如何决定蛋白质中氨基酸的排列？这是今天生物学中还没有解决的中心问题。不过，已有了一些初步线索或零碎的信息：在细胞中有一些微小粒子，叫做微粒体，现在知道它就是蛋白质生成的地方。但是微粒体不在细胞核内，而DNA及其指令却在细胞核里。这似乎是个麻烦。然而，现在也知道，有小的分子断片从DNA中放出，它没有携带全部信息的巨大DNA分子本身那么长，而像是它的一小段。它叫做RNA，但名字无关紧要。它是DNA的一种拷贝——一份缩微的拷贝。RNA以某种方式携带着生成哪一种蛋白质的信息去到微粒体中，这我们已经知道了。当它到达那里后，微粒体就合成出蛋白质，这我们也知道了。但是，氨基酸是怎样进来以及它们是怎样根据RNA上的密码而排列成某种蛋白质的，其细节我们仍然还不知道。我们不知道怎样去解读密码。比方说，如果我们知道一段序列ABCCA，我们也无法告诉你要生成的是哪种蛋白质。

在当代，肯定没有哪门学科或者领域，能够像生物学那样，在如此多的前沿上取得如此大的进展。如果我们要提名一个引导我们在理解生命的探索中不断前进的最强有力的假设，那就是万事万物都是由原子构成的，并且生物体的一切行为都可以通过原子的振动来理解。

3-4 天文学

在我们对整个世界的这个跑马观花式的解说中，现在必须转到天文学。天文学比物理学更古老。事实上，正是表明了恒星和行星的运动的奇妙的简单性才使物理学得以发轫，对它的理解是物理学的开始。但是全部天文学中最重大的发现是，所有的星星都是由同地球上一样的原子组成的[11]。这是怎么知道的呢？原子放出确定频率的光，这有点像乐器的音色，它有确定的音高或声音频率。当我们听到几个不同的音调时，我们可以把它们分开，但是当我们用眼睛看几种颜色的混合时，我们却不能说出它的成分颜色，因为眼睛在这方面的辨别能力远比不上耳朵。但是，用一台光谱仪我们可以分析光波的频率，用这个方法我们可以看到不同星球上的原子发出的真正"音调"。事实上，有两种元素是先在星星上然后才在地球上发现的。氦是在太阳上发现的，它的名字即由此而来[12]，而锝则是在某些冷星上发现的。这当然使我们在理解星星方面取得了进展，因为它们是由和地球上一样的原子组成的，而今天我们已经知道了不少关于原子的知识，特别是原子在高温而密度不太大的状态下的行为，于是我们就可以用统计力学方法来分析星体物质的性能。即使我们不能在地球上复现星体的状态，用基本的物理定律我们还是常常能够精确地或者非常近似地说出会发生什么事情。因此物理学帮助了天文学。看来似乎奇怪，我们对太阳内部物质分布情况的了解远胜于我们对地球内部情况的了解。你也许会猜想，对远处的恒星，我们只能通过一架望远镜看到一个小光点，要了解其内部情况是极其困难的，但实际上，我们对一颗恒星内部发生的情况的了解要比你猜想的强，因为我们可以计算星体中的原子在大多数情况下的行为。

给人印象最深的发现之一是使星星不断发热发光的能量的来源。它的发现者之一，在认识到恒星中必须进行着核反应才能发光之后，有一天晚上和他的女友出来散步。女友对他说："看哪，这些闪耀的星星多

美啊！”他回答说：“是啊，此时此刻，我是世界上惟一知道它们为什么发光的人。”女友只对他一笑。她并不对同当时是世界上惟一知道星星为什么会发光的人出来散步这一点有什么特别深的印象。是的，不为人理解是可悲的，但是这个世界就是这样。

正是氢核的“燃烧”给太阳提供了能量；在这个过程中氢核转变为氦核。而且在星体中心，从氢最终制造出各种化学元素。构成我们的身体的材料，是在某个星球上一次“烹制”好后喷射出来的。我们是怎么知道的呢？因为有一个线索。不同的同位素的比例——^{12}C占多少，^{13}C占多少，等等，是化学反应改变不了的，因为化学反应对两种同位素是相同的。它们的比例完全是核反应的结果。通过考察这些熄灭了、冷却了的炉灰（我们自己就是这种产物）中各种同位素的比例，我们就能够发现制造组成我们身体的材料的火炉是什么样子。这个火炉很像恒星，因此很可能我们的元素是在恒星中制造并且在爆炸中喷射出来的，我们管这种爆炸叫新星和超新星。天文学和物理学是如此密切相关，随着我们向前行进，我们将学习许多天文学的东西。

3-5　地质学

现在我们转到人们所称的地球科学或地质学。首先是气象学和天气。当然气象学仪器是物理仪器，如我们前面所述，是实验物理学的发展使这些仪器成为可能。但是，物理学家从来没有得到过满意的气象学理论。你们会说："怎么啦，气象学中只考虑空气，而我们知道空气的运动方程。"的确我们知道。"那么，如果我们知道了今天的空气状态，为什么我们不能计算出明天的空气状态呢？"首先，我们并不真正知道今天的空气状态，因为空气到处涡动、打旋。它很敏感，甚至不稳定。如果你曾看到过水如何平滑地流过堤坝，然后在下落过程中变成大量的水珠和水滴，你就会懂得我说的不稳定是什么意思。你知道水流出溢水道之前的状态，它是完全平滑地流动的；但是一旦它开始往下掉，水滴是从哪里开始？是什么决定了水滴将会有多大以及它将在何处？这些都不知道，因为水是不稳定的，而空气更加。即使一团原来是平滑地运动的空气，在越过一座山时，就会变成复杂的旋涡和涡流。在许多领域我们都会遇到这种湍流情况，对这种情况今天我们还无法分析。那么，赶快离开天气这个题目，转而讨论地质学吧！

地质学的基本问题是，是什么使地球成为它今天这个样子？最明显的过程就在你们眼前，这就是河流、风等的侵蚀过程。这些过程很容易理解，但是对于每一点侵蚀都有等量的别的某种东西发生。平均说来，今天的山并不比它们过去低。因此必定有一种造山过程。如果你学习地质学，你将看到的确有造山过程和火山活动，这些现象占了地质学的一半内容，今天还没有人懂得。火山现象的实质没有人真正了解。造成地震的原因最终人们也不了解。现在知道的是，如果有什么东西推别的东西，就会突然断裂并将滑动——这是对的。但是是什么在推，并且为什么会推呢？现在的说法是，地球内部有一种流动——由于内外温度差而引起的环流，它们在运动中轻轻地推动地面。如果相邻有两股相反的环

流，在它们相遇的地方物质就会堆积起来形成山脉，它们处于不平衡的受应力状态，从而引起火山爆发和地震。

地球的内部是怎样的？有关地震波穿过地球传播的速度和地球的密度分布的知识已经知道不少。但是，关于物质在地心处预期的压强下的密度该是多大，物理学家还未能提出一个良好的理论。换句话说，我们还不能很好地计算出在这些情况下物质的性质。我们对地球的了解远远比不上我们对恒星内物质状态的了解。这里涉及的数学今天看来似乎有点过于复杂，但是也许不会太久，就会有人认识到这是一个重要问题，并且真正解出它。另一方面，当然，即使我们知道了密度，我们也不能算出环流，也不能真正得知岩石在高压下的性质。我们无法得知岩石以多快的速度熔化；这些统统得由实验给出。

3-6　心理学

下一步，我们考虑心理学。顺便说一句，精神分析并不是一门科学：它充其量是一个医疗过程，也许更像是巫医。它有一个关于病因的理论——有多种不同的“精灵”等。巫医有一个理论：一种疾病如疟疾是由一个进入空气的精灵引起的；但是他们治疗疟疾的方法并不是把一条蛇在患者头上摇动，而是奎宁。因此，如果你生病了，我会劝你去看巫医，因为他是部落里掌握疾病的知识最多的人；但是，他的知识不是科学。精神分析并没有用实验仔细检验过，无法给出一张清单，在多少例中它有效，多少例它无效，等等。

心理学的其他一些分支则没有这么有趣，这包括关于感觉的生理学——眼睛里发生什么情况，大脑里发生什么情况等。但是对这些题目的研究却得到一些微小但却实在的进展。一个最有趣的技术问题可以叫做心理学，也可以不叫做心理学。关于心灵（或者神经系统，如果你愿意的话）的中心问题是：当一个动物学会了做什么事之后，它就能够做它以前不会做的这些事，因此它的脑细胞一定也有变化，如果脑细胞是由原子构成的话。它在什么方面变得不同了？当什么东西被记住之后，我们不知道该到哪儿去找这种不同，也不知道该找什么东西的不同。当学会一件事后，我们不知道“学会”究竟意味着什么，不知道神经系统里发生了什么变化。这是一个非常重要的问题，还完全没有得到解决。假设存在着某种记忆体，大脑就是这么一个有大量互相交连的接线和神经的物体，它大概是不能用一种简单直接的方式分析的。它同计算机及计算单元有相似之处，它们都有大量的布线，它们有某种元件同突触或神经元接点相似。思维和计算机之间的关系是一个很有趣的题目，不过我们没有时间进一步讨论了。当然，必须了解，这个题目在有关通常人类行为的真实复杂性上能告诉我们的不多。各个人之间是如此不同，要了解人类的行为还需要很长的时间。我们必须从后方很远的地方出发。哪怕

我们能够懂得一只狗的心理活动，那就是一个够了不起的成就了。狗是比较容易了解的，但是还没有人懂得狗的心理活动。

3-7　它是怎么变成这个样子的

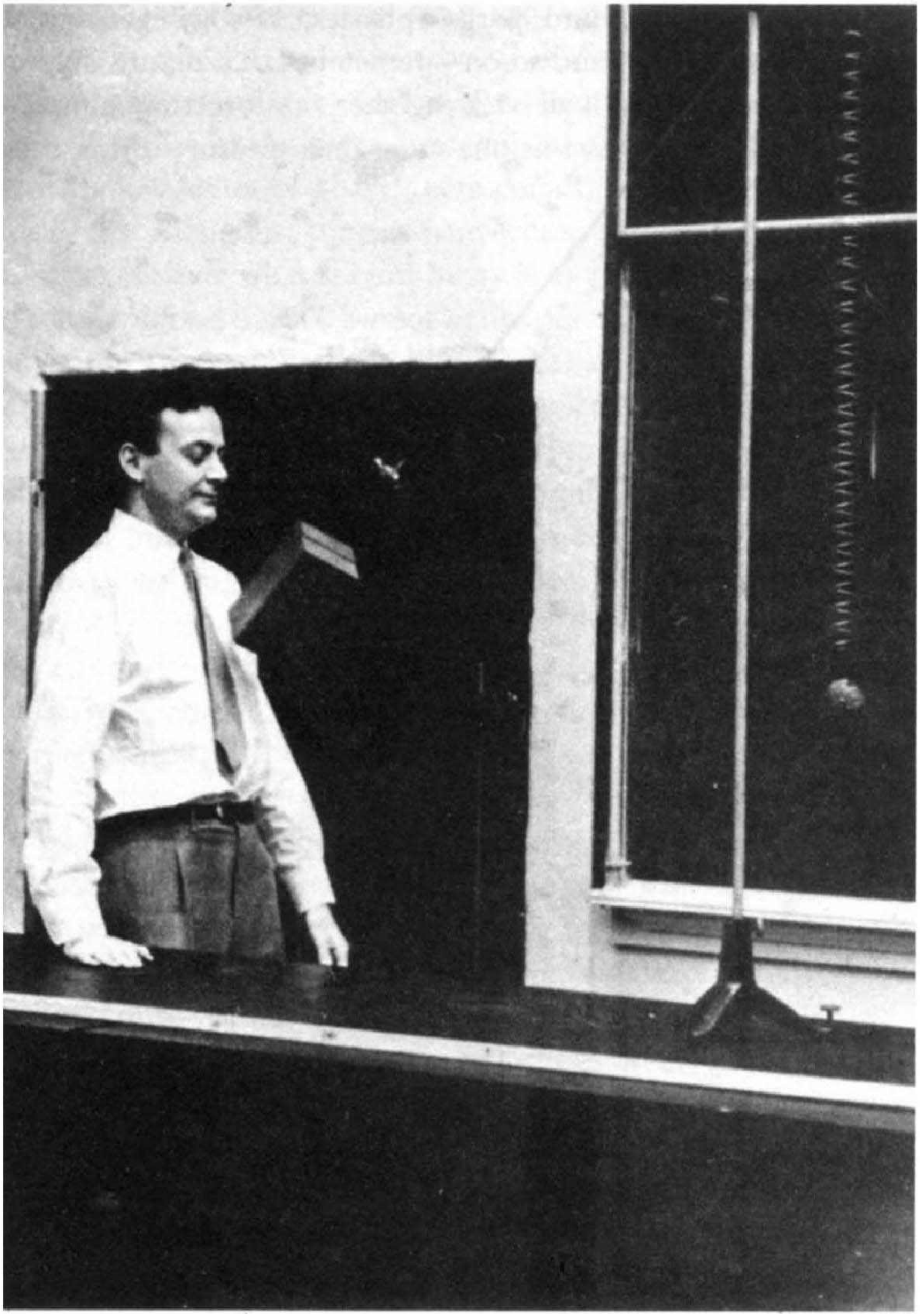
为了使物理学不仅在仪器发明方面，而且在理论方面对别的学科有帮助，该学科必须向物理学家提供用物理学家的语言对其研究对象的描述。他们可能会问：“为什么青蛙会跳？”物理学家回答不了这个问题。如果他们告诉他青蛙是什么，有许多许多分子，这里有一条神经，等等，那就不一样了。如果他们或多或少告诉我们，地球或星星是什么样子，我们就能够把它们摹想出来。为了使物理学理论起作用，我们必须知道原子的位置。为了了解化学，我们必须精确知道在该问题中有哪些原子出现，否则就无法分析这个问题。当然，这只是一个方面的限制。

在姐妹学科中，有另一种问题，这个问题在物理学中是不存在的。由于缺乏一个更好的术语，我们可以称之为历史问题：它是怎样变成这个样子的？如果我们了解全部生物学，我们就会想知道，地球上所有的生物是怎么来的。我们有进化论，它是生物学的一个重要部分。在地质学中，我们不仅想知道山脉怎么正在生成，还想知道这个地球最初是怎么形成的，太阳系的起源，等等。当然，这就会使我们想要知道宇宙中曾有过哪种物质。星星是怎样演化的？初始状态如何？这是天体的历史问题。关于恒星的形成，关于构成我们身体的元素的形成，今天我们已经知道不少，甚至还知道一点关于宇宙起源的知识。

在物理学中目前不研究历史问题。我们没有这样的问题：“这些物理学定律是怎样变成这个样子的？”在目前，我们不想象，物理学定律会以某种方式随时间变化，物理学定律在过去和现在有什么不同。当然也不排除有这个可能，一旦发现物理学定律真的随时间变化，物理学的历史问题就将与宇宙的历史的其他问题交织在一起，而物理学家就将谈论天文学家、地质学家和生物学家同样的问题。

最后，在许多领域中存在一个共同的物理学问题，这是一个非常古老而又未曾解决的问题。它不是寻找新的基本粒子的问题，而是很久以前留下来的问题，已经有100多年了。尽管它对姐妹学科非常重要，在物理学中还没有人真正能够在数学上对它进行分析。那就是对湍流的分析。如果我们观察一颗恒星的演化，就会发现会有这么一个时刻到来，我们可以推断在此时刻将开始发生对流，但在此后我们就再也不能推断将发生什么事了。几百万年后这颗恒星发生爆炸，但是我们不能说出其原因。我们不能分析天气。我们不知道地球内部的运动图样。这个问题的最简单形式是取一根很长的管子，使水以高速通过它。我们问：使一定量的水通过这根管子，要加多大的压力？没有人能够从基本原理和水的性质出发来分析这个问题。如果水流得很慢，或者我们用很稠的黏性物质比如蜂蜜，我们可以很好地解决这个问题，这在你们的教科书上就有。我们不能处理的是实际的水流过管子的问题。这是一个有一天终将解决的中心问题，但是现在尚未解决。

一个诗人曾说过："这个宇宙就在一杯葡萄酒中。"我们大概永远不会知道他是在什么意义上说这句话的，因为诗人写诗不是让人去读懂的。但是如果我们足够细致地观看一杯葡萄酒，我们的确看到这个宇宙。这里有物理学的东西：涡动的液体，它的蒸发依赖于风和天气，玻璃上的反射，我们想象的原子。玻璃是地上岩石的提纯物，在它的成分中我们看到了宇宙年龄和恒星演化的奥秘。葡萄酒中的种种化合物有怎样奇特的排列？这些化合物是怎样产生的？这里有种种酵素、酶、基质和它们的生成物。在葡萄酒中发现了伟大的结论：整个生命就是发酵。所有研究葡萄酒的化学的人都会像巴斯德那样，发现许多疾病的原因。红葡萄酒多么鲜艳！把它深深铭刻在你脑海中吧！如果我们微弱的心智为了某种便利，把这杯葡萄酒——这个宇宙分为几部分：物理学、生物学、地质学、天文学、心理学等，那么让我们记住，大自然并不知道这种分法。所以让我们把所有这些都放回到一起，别忘记这杯酒最终的用途。让它最后再给我们一次欢乐：干杯，忘了它！



第4章
能量守恒

4-1　什么是能量

在结束我们对事物的一般性描述之后，从这一章开始，我们来更详细地研究物理学各个不同的方面。为了说明理论物理学中会用到的概念和推理方式，我们现在来考察物理学的最基本的定律之一——能量守恒定律。

有一个事实（如果你愿意，也可以说一条定律）支配着迄今我们知道的一切自然现象。还没有发现这条定律有任何例外——就我们所知它是绝对精确的。它叫做能量守恒定律。这条定律说，在自然界发生的多种多样的变化中，有一个量（我们管它叫能量）是不变的。这是一个极抽象的概念，因为它是一个数学原理；它说的是有一个数量，它在某件事情发生时保持不变。它不是对一种机制或任何具体东西的描述；它只是一件奇怪的事实：我们可以计算某个数值，当我们看完大自然玩过一场魔术后，再来计算这个数量，两次结果相同。（有点像象棋盘红格子上的象，不论走了多少步——具体步数不详——它仍在红格子上。能量守恒定律就是一条这种性质的定律。）由于它是一个抽象概念，我们将用一个类比来说明它的意义。

想象有个孩子，我们就叫他淘气鬼丹尼斯吧，他有一堆积木，这些积木绝对不会损坏，也不能分成更小的小块。每一块积木都和别的积木相同。我们假设他有28块积木。每天早上，他妈妈把他连同他的28块积木一起留在一个房间里。到了晚上，他妈妈出于好奇，仔细地对积木进行了点数，于是发现了一条唯象定律：不论丹尼斯怎样玩积木，积木数目总还是28块！这种情况持续了若干天，直到有一天，积木只有27块了，但是稍做寻找，她就发现地毯下面还有一块——她必须到处都看看才能确认积木数目没有变化。可是，有一天，积木数目看来是变了——只有26块了。仔细调查表明，窗户开了，向外一看，两块积木就在那

儿。另一天，仔细数过之后表明，共有30块积木！这使她相当惊愕，后来才知道，布鲁斯曾带着他的积木来玩过，走的时候留下几块在丹尼斯的房间。她拿走了额外的积木，关上窗户，并且不让布鲁斯进来，此后一切都很正常。然而有一次，她点数之后，发现只有25块积木。但是，房间里有一个玩具箱，妈妈走过去要打开箱子，可是孩子尖叫着，说“不，别动我的玩具箱”，不让妈妈打开箱子。妈妈十分好奇，也比较有心眼，她想出了一个主意！她知道，每块积木重80克，以前她看见积木有28块时曾称过玩具箱的质量为450克。这一次她想核对一下，于是就再次称了箱子的质量，减去450克，再除以80克。她发现：

看见的积木数+（箱子质量-450克）/80克＝常数　　(4.1)

后来似乎又出现了新的偏差，但是仔细的研究表明，浴缸里的脏水的高度变了。孩子把积木扔到了水里，可是因为水太脏她看不见它们，但是她能求出有多少块积木在水里，这只要在她的公式里加上一项。由于原来的水面高15厘米并且每块积木使水面升高0.6厘米，新公式是

看见的积木数+（箱子质量-450 克）/80克+

（水面高度-15厘米）/0.6厘米＝常数。　　(4.2)

于是，在她的这个越来越复杂的世界里，她发现了一系列用来计算有多少块积木藏在不让她看的地方的项。结果她得到一个复杂公式，得到一个可计算的量，不论孩子怎么玩，这个量永远不变。

这同能量守恒有什么相似之处呢？必须从这幅图景中抽掉的最显著的一点是，根本就没有积木。从（4.1）式和（4.2）式中拿掉第一项，我们发现自己是在做有些抽象的计算。相似的有以下几点：第一，在我们计算能量时，有时它的一部分离开系统跑出来，有时又有一些跑进

去。为了验证能量守恒，我们必须注意不把任何能量放进去或取出来。第二，能量有多种不同的形式，每种形式有一个表示能量的公式。这些形式是：引力能、动能、热能、弹性能、电能、化学能、辐射能、核能、质能。如果我们把每种贡献的公式加在一起，它的总量就不会变化，除非有能量进出。

重要的是要认识到，在今天的物理学中，我们并不知道能量究竟是什么。我们并没有一幅图像，把能量摹想为有确定大小的小团。它不是那样的。但是，有一些计算某个数量的公式，当我们把它全都加在一起，就给出“28”——总是相同的数目。这是一个抽象的东西，它并不告诉我们各个公式的机制或原因。

4-2　重力势能

只有在有了各种形式的能量的公式之后，我们才能理解能量守恒。我想在这里讨论重力（地球表面附近的引力）势能的公式，我不想用历史上常用的那种方法来推导这个公式，而是用另一种方式，这种方式是专门为这次课设计的一条推理思路，为的是向你表明一件值得注意的事：从不多的事实出发加上严密的推理，就可以得出关于大自然的许多知识。它表明了理论物理学家所从事的工作的特性。这个推理方法仿效了卡诺讨论蒸汽机效率所用的非常漂亮的论证方法。[13]

考虑一台起重机——一种通过降低一个物体来举高另一个物体的机械。让我们还做一个假设：这种机械中没有永恒运动这一类事情发生。（事实上，根本不存在永动机正是能量守恒定律的一个普遍表述。）对永恒运动的定义必须小心。我们先对起重机来定义什么是永恒运动。如果我们在抬高和降低了许多重物并使机器回复到原来的状态后，发现净效果是升高了一个重物，那么我们就有了一台永动机，因为我们可以用被升高的重物来做别的事。也就是说，倘若升高重物后机器精确地回到它原来的状态，而且它是完全自给的——即它未曾从外界接受能量（像布鲁斯的积木）来升高这个重物。

一种非常简单的起重机如图4-1所示。这台起重机升起三倍重的重物。我们把三个单位的重量放在一个秤盘里，在另一个秤盘里放一个单位重量。不过，为了使它实际工作起来，我们得从左边的盘里挪走一点重量。反之，如果我们从右边的盘里取出一点重量，我们也可以靠降低三个单位重量来升高一个单位重量。当然我们知道，对于任何实际的起重机，都必须加一点额外的作用才能使它运作。我们暂且不考虑这一点。理想的机器不需要任何额外的作用，虽然它们在实际中不存在。我们实际使用的机器在某个意义上可以几乎是可逆的：即，如果它会靠降

低一个单位重量来升高三个单位重量，那么它也会靠降低三个单位重量来将近似一个单位重量升高到原来的高度。

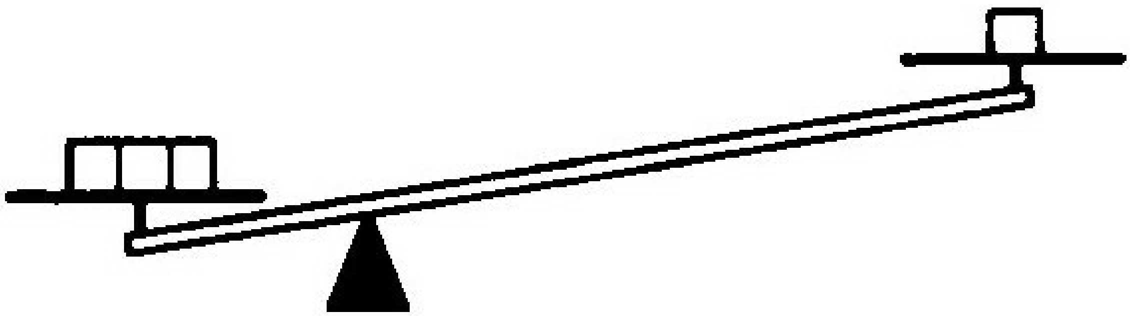


图4-1　简单的起重机械

我们想象存在着两种不同的机器：一种是不可逆的，它包括一切实际的机器；另一种是可逆的，这当然是实际上做不到的，不论我们怎样细心地设计轴承、杠杆等。不过，我们还是假设有这样一台可逆的机器存在，它使一个单位重量（1牛顿或任何别的单位）降低一个单位距离，同时使三个单位重量升高。把这台可逆的机器叫做机器A。假设这台特别的可逆机把三个单位的重量升高一段距离x。再假设我们有另一台机器B，它不一定是可逆的，它也把一个单位重量降低一个单位距离，但是它使三个单位的重量升高的距离是y。我们现在可以证明y不大于x；这就是说，不可能建造一台机器，它能把重物提升到一个比可逆机所能提升到的更高的高度。我们来看为什么。假设y大于x。我们取一个单位重量，用机器B把这一个单位重量降低一个单位高度，这使三个单位重量升高一个距离y。然后我们可以把这个重量从y降到x，获得了白给的能力，并用可逆机A逆向运转，把三个单位重量降低距离x，同时使一个单位重量升高一个单位高度。这样就把一个单位重量送回它原来的位置，而使两台机器再次处于初始的备用状态！因此如果y大于x，我们就会有永动机了，而我们已假定这是不可能的。只要假定永动机不可能，我们就推导出y不会高于x，因此在一切可以设计出来的机器中，可

逆机是最好的。

我们还可以看到，一切可逆机必定把重物升高到刚好相同的高度。假设*B*也是一台可逆机。当然，*y*不高于*x*的论证现在也和以前一样成立，但是现在我们也可以把论证的方向反过来，使用次序倒过来的机制以证明*x*不高于*y*。这个做法很值得注意，因为它允许我们分析不同的机器把某个东西升高的高度，而不必考察其内部机制。我们立刻就知道：如果某人制造了一组极其精巧的杠杆，靠把一个单位的重量降低一个单位距离以把三个单位的重量提高一段距离，把它和一个做同样工作的基本上可逆的简单杠杆相比较，这个人的机器并不会把重物升得更高，也许还低一些。如果他的机器是可逆的，我们也精确知道它会把重物升多高。总结一下：每一台可逆机，不论它如何运作，它将质量为1kg的东西降低1米以升高质量为3kg的重物，总是把质量为3kg重物升高到同一距离*x*。显然这是一条很有用的普遍定律。下一个问题当然是，*x*是多少？

假设我们有一台可逆机，它将要在3对1的情况下升高一个距离*x*。我们把3个篮球放在一个固定不动的多层货架上，如图4-2所示（每个图的最右边）。另一个篮球放在比地面高1米的平台上。这台机器可以靠把一个球降低1米来升高3个球。现在我们这样安排：准备装3个球的升降台（紧紧贴在固定货架的左边）有一层底板和两层架子，其间隔刚好是*x*，而且装着球的固定货架的间隔也是*x*（图（a））。首先我们把球从固定货架上水平地滚到升降台的架子上（图（b）），我们假设这不用花费能量，因为并没有改变球的高度。然后可逆机开始运作：它把单个球降到地板上，这使升降台升高一个高度*x*（图（c））。既然我们对架子做了巧妙的安排，因此这些球再次和货架的格子相平。于是我们把球再卸到货架上来（图（d））；把球卸下之后，我们就可以设法把机器恢复到初始状态了。现在我们有3个球在上面三层货架上，有1个球在地板上。但是奇妙的是，从另一个观点看，我们根本没有升高其中的两

个球，因为毕竟第二层架子和第三层架子上原来就有球。最终的净效果是把一个球升高了一个距离3*x*。现在，如果3*x*超过1米，我们就可以降低这个球以使机器回到初始状态（图（f）），而让机器再度运行了。因此3*x*不能超过1米，因为如果3*x*超过1米，我们就可以实现永动机。同样，我们可以证明1米不能超过3*x*，这只要使整个机器反向运转就行了，因为它是一台可逆机。因此3*x*既不大于也不小于1米，于是我们只通过论证就发现了定律*x*=1/3米。显然它可以推广为以下这样：质量为1kg的重物下降一段距离以运转一台可逆机，那么这台机器将把质量为pkg的重物升高上述距离的p分之一。表示这个结果的另一种说法是，3kg乘以升高的高度（在我们的问题中是*x*）等于1kg乘以下降的高度（在我们的问题中是1米）。如果我们取所有的重量，将它们乘以它们现在高出地板的高度求和，然后让机器运转，再把所有的重量乘以其高度求和，得到的前后结果不会有变化。（这个例子里我们只使一个重物升高。我们必须把它推广为我们使一个重物下降时能使几个不同的重物升高的情形，但这不难。）

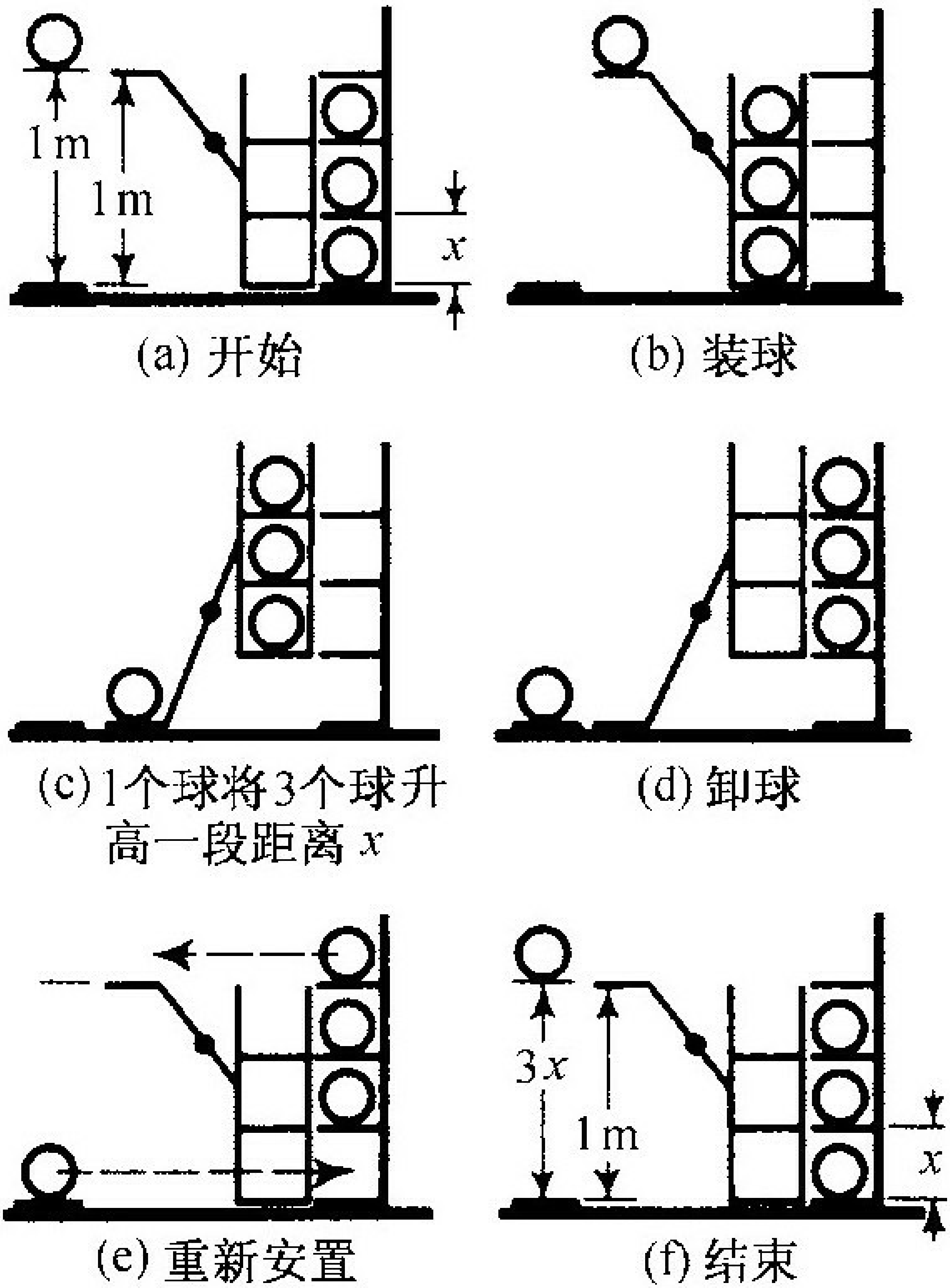


图4-2　一台可逆机

我们把重量乘高度之和叫做重力势能——一个物体由于它相对于地球的空间关系而拥有的能量。于是，只要我们离地球不太远（位置很高时重力会变弱），重力势能的公式是

$$\text{一个物体的重力势能} = \text{重量} \times \text{高度} \tag{4.3}$$

这条推理思路非常优美。惟一的问题是，也许它不是真实的（毕竟大自然的行为并不是非得遵照我们的思路不可）。例如，也许永动机实际上是可能的呢？！某些前提假设可能是错的，或者我们在推理过程中可能犯错误，因此检验总是必需的。事实上，实验证明它是对的。

如果一个物体的能量同相对于别的物体的位置有关，这种能量的一般名称就叫做势能。当然，在我们这种涉及重力的情况下，我们管它叫重力势能。如果在问题中我们是克服电力而不是克服重力做功，如果我们是用许多杠杆来“举起”电荷使它离开别的电荷，那里包含的能量就叫做电势能。普遍的原则是，这种能量的变化是力乘上这个力推过的距离，而且这也是一般的能量变化：

$$\text{能量的变化} = \text{力} \times \text{这个力作用下所经过的距离} \tag{4.4}$$

随着课程的进展，我们将遇到别的种种势能。

能量守恒原理对于在许多情况下推断会发生什么事是非常有用的。在中学里我们学过许多关于不同用途的滑轮和杠杆的定律，我们现在会看出所有这些“定律”都是一回事，因此就用不着死背75条规则来解决一道问题了。一个简单例子是图4-3所示的光滑斜面，很巧，它是

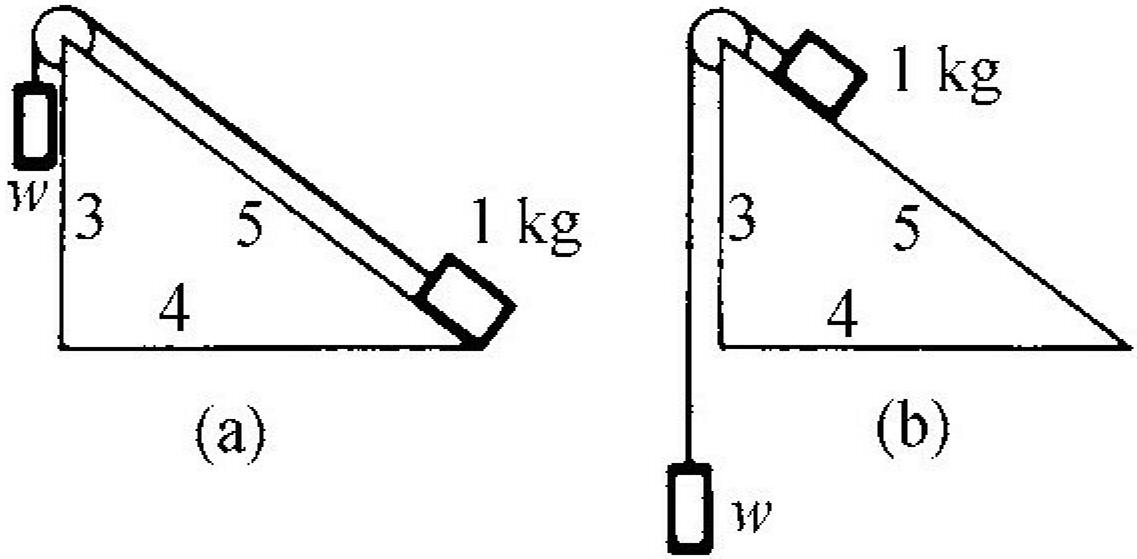


图4-3　斜面

一个边长为3、4、5的三角形。我们把质量为1kg的重物用一个滑轮挂在斜面上，滑轮的另一面是一个质量为*W*的重物。我们想要知道*W*必须是多大才能和斜面上质量为1kg的重物平衡。怎么解这个问题呢？如果它们刚好平衡，那就是可逆的，可上可下，我们可以考虑下述情况。初始时（图（a））质量为1kg的重物在斜面底部而*W*在顶端。当*W*以可逆的方式落下去后，情况变为1kg重物在顶端而*W*则从原先的位置往下落了斜面长度的距离（图（b）），或5米。1kg的物体只升高了3米而*W*则下降了5米。因此*W*=3/5kg。注意我们是从能量守恒推出这个结果来的，而不是从力的分解。但是，强中更有强中手，我们还可以用一个更高明的方法来推出这个结果，这个方法是荷兰数学家斯蒂文发现的，刻在他的墓碑上。图4-4说明这个重物必须是3/5 kg，因为这

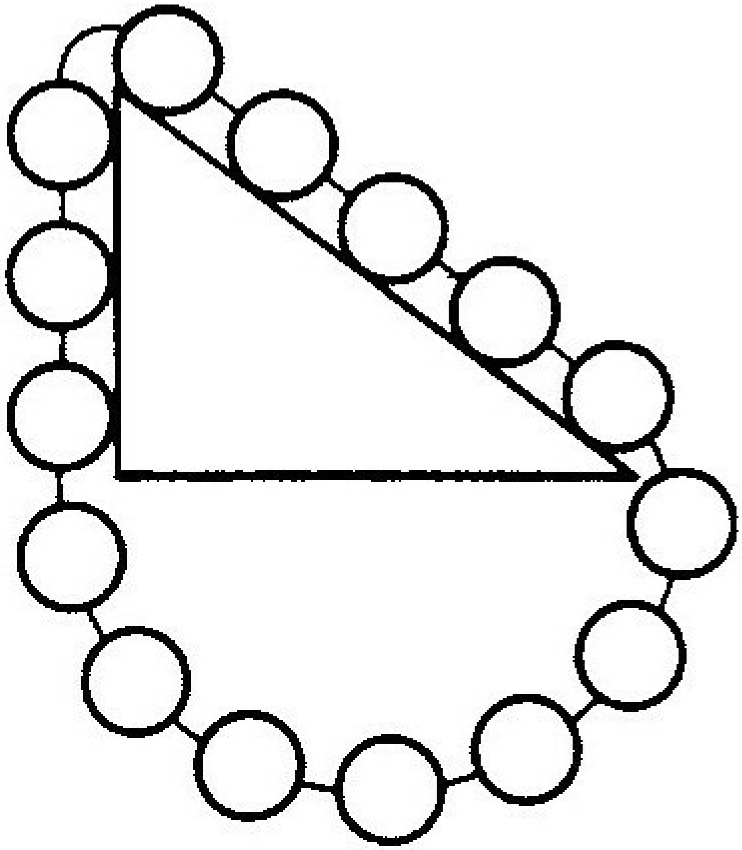


图4-4　斯蒂文的墓志铭

条由圆球组成的链子不转动。很明显链条的下部自己和自己平衡，因此一边的5个圆球的拉力必须和另一边的3个圆球的拉力相平衡，或按照三角形上面两条边的边长之比。你看，一瞧这个图，就知道W必须是3/5　　kg。（如果在你的墓碑上有一个像这样的墓志铭，你准干得不错。）

现在我们用一个更复杂的问题，图4-5所示的螺旋千顶斤顶，来说明能量原理。用一根半米长的扳手来扳动螺旋，螺旋的螺纹每厘米4圈。为了顶起1吨的重物，问扳手上要用多大的力？如果我们要把这个1吨的重物顶起比方说1厘米，我们必须把扳手转4圈。它转一圈所走的路程大约是3.15米。于是扳手一共得走12.6米，这样我们求出扳手上要用

的力是0.8千克力左右。这是能量守恒的结果。用一些滑轮之类的东西，我们就可以用一个质量为0.8 kg的小重物把力加到扳手端点上把1吨的重物顶起来。

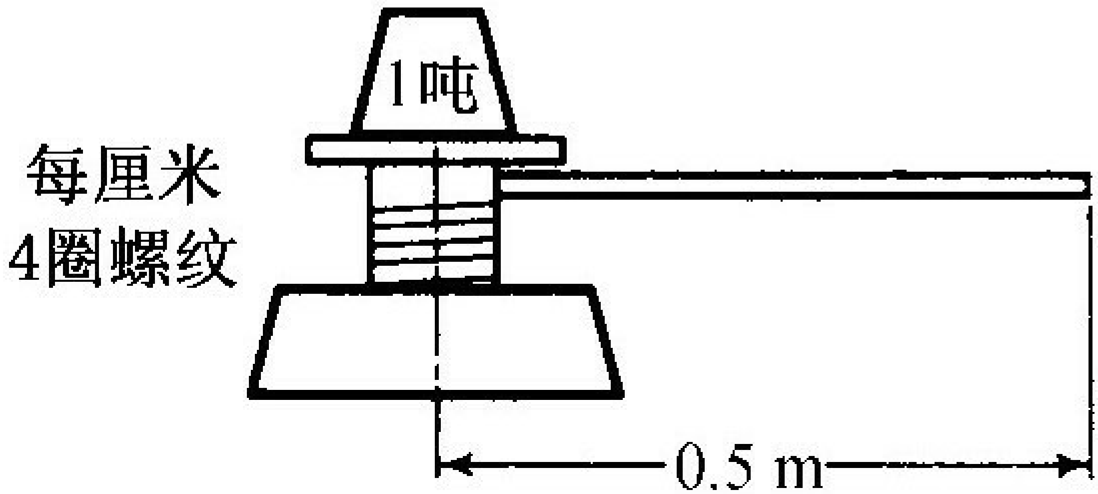


图4-5　螺旋千斤

现在看一个更复杂一些的例子，如图4-6所示。一根棍子，长2米，一端支起来。在棍子中点有一个质量为30kg的重物，在离支撑点半米处有一个质量为50kg的重物。忽略棍子本身的重量，要使棍子平衡，我们在棍子的另一端要加多大的提举力？如果我们在棍端处加一滑轮，在滑轮上挂一重物。这个重物*W*得是多大才能平衡？我们想象这个重物下落一段任意距离——为了我们自己方便，假设它下降4厘米。两个负载重物升高多少？中点上升2厘米，而离固定支撑点四分之一棍长处的点则上升1厘米。因此，高度乘重量之和不变的原理告诉我们，质量*W*乘4厘米向下，加30千克乘2厘米向上，加50千克乘1厘米向上，其和必须为零：

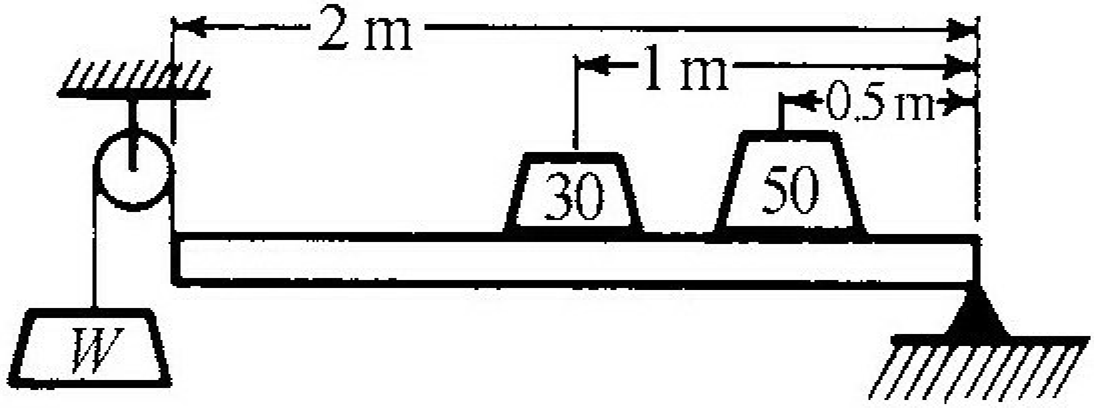


图4-6　一端吊起来的荷重杆

$$-4W+2\times 30+1\times 50=0，W=27.5\ \mathrm{kg}。\tag{4.5}$$

于是我们必须用一个质量为27.5千克的重物使棍子平衡。用这种方法，我们就得出“平衡”的定律——复杂的桥梁结构等的静力学。这种方法叫做虚功原理，因为为了用这个方法我们必须设想系统有一个小移动——尽管它实际上并没有移动甚至根本不能移动。我们用很小的假想运动以运用能量守恒原理。

4-3　动能

为了说明另一种形式的能量，我们考虑一个单摆（图4-7）。如果我们把摆拉向一边再放开，它就来回摆动。在这种运动中，从任何一个端点摆向中心时它的高度都降低。势能到哪儿去了？当摆在底部最低位置时重力势能会消失；但是，摆会再次爬上去。可见，重力势能一定变成了另一种能量形式。显然，摆是依靠它的运动才能再次爬上去的，因此在摆到达最低点时重力势能转变为某种别的形式了。

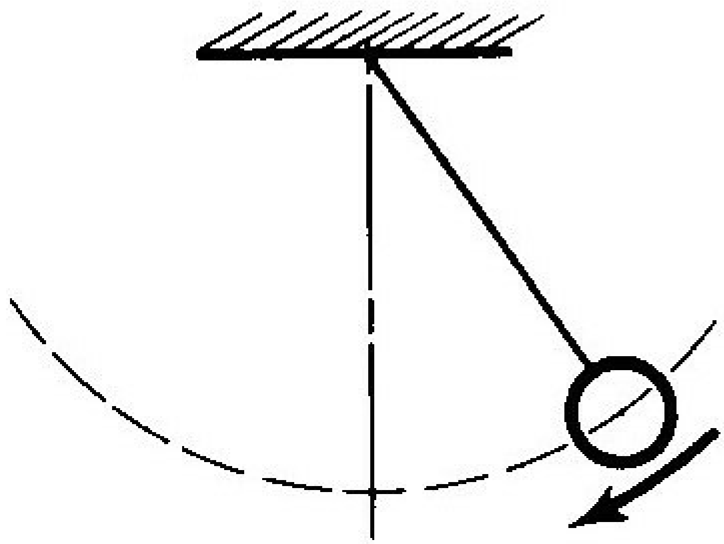


图4-7　摆

我们必须得出运动能量的一个公式。回忆我们对可逆机的论证，容易看出，摆在底部的运动必定拥有一定量的能量，是它允许摆上升一定的高度，它与摆升高的机制和路程无关。因此我们有一个这两种能量之间的等当公式，它同我们前面对孩子的积木写出的公式有点相像。我们有另一个表示能量的形式，不难得出这个形式。摆在底部的动能等于重量乘摆在其速度下能到达的高度，动能=$W\times h$。现在需要的是根据某个

规则得出这个高度（它必定与物体的运动有关）的公式。如果我们以某个速度使一物体开始运动，比方说垂直上抛，它将到达一定的高度；我们还不知道这个高度是多少，但是它必定依赖于速度，它们之间有一个公式。于是为了求出一个以速率v运动的物体的动能的公式，我们必须算出它能到达的高度，再乘以物体的重量。我们下面不久就会发现，动能的公式可以写成

$$\text{动能}=Wv^2/2g。\tag{4.6}$$

当然，运动具有能量这一点同我们是在一个重力场中并无关系。它同运动是怎样产生的无关。这是一个适用于各种速度的普遍公式。（4.3）式和（4.6）式都是近似公式：前一公式在高度很大时不正确，因为高度很高时重力减弱；后一公式则在速度高时有相对论性修正。但是，当我们最后得到能量的精确公式时，能量守恒定律仍是正确的。

4-4　能量的其他形式

我们可以继续用这个办法说明能量还以其他的形式存在。首先考虑弹性能。如果我们把一根弹簧往下拉，我们必须做一些功，因为我们把它拉下来之后，就可以用它将重物拉到高处去。因此弹簧在被拉伸的状态下具有做功的本领。如果这时我们来计算重量乘高度之和，是不能验证它们不变的——我们必须加进一些别的项以考虑弹簧是处于紧张状态的事实。弹性能就是弹簧处于被拉伸状态的能量。它有多大？如果我们放开它，在弹簧经过平衡点时，弹性能就变换为动能，能量在弹簧的压缩和伸长与运动的动能之间来回变换。（这里也有一些重力势能进出，不过只要我们愿意，我们可以让弹簧平躺着做实验。）它一直这样往复振动，直到能量损失——啊！我们前面一直在玩一个小花招，说什么加一个微小的重量使物体动起来，或者机器是可逆的，或它们永远运动下去等，但是我们能够看到，这些东西最终都要停下来。当弹簧不再上下振动时，能量到哪里去了呢？这就引入了能量的另一种形式：热能。

在弹簧和杠杆内部有由大量原子组成的晶体。你可以试着以极度的细心和技巧安排各种部件来进行调整，使得当一个东西在另一个东西上滚动时，原子不做任何晃动。但是这必须非常、非常细心。通常当一个东西滚动时，由于材料的不规则性，都会发生撞击和跳动，原子就开始在内部乱动。于是那部分能量就失踪了；我们发现在运动慢下来以后原子在内部以随机和混乱的方式乱动。不错，这时仍然有动能，但是它不是和看得见的运动相联系。似乎全是些梦话！我们怎么知道这时还有动能？原来，用温度计你可以发现，弹簧或杠杆事实上比以前更热了，这确实表明动能有一定数量的增加。我们把这种形式的能量叫做热能，不过我们知道其实它并不是一种新形式，它就是动能——内部运动的动能。（我们在大尺度上对物质所做的一切实验都有一个困难，即不能真正演示能量守恒，不能实际做出可逆机，因为我们每次使一大块材料运

动，原子都不会绝对不受扰动，因此总会有一定数量的无规运动进入原子系统。我们看不见它，但是我们可以用温度计等测出它。）

能量还有许多别的形式，当然，眼下还不能对它们做更详细的描述。这包括电能，它同电荷的排斥和吸引有关。还有辐射能，光的能量，我们知道它是电能的一个形式，因为光可以表示为电磁场的振动。还有化学能，化学反应中释放出的能量。化学能是物质中原子相互吸引的能量，弹性能也是如此，因此，弹性能实际上在某些方面和化学能相像。现在的理解是，化学能包括两部分，一是原子内部电子的动能，因此化学能的一部分是动能，其余的是电子和质子相互作用的电能，因此另一部分是电能。接下来该是核能了，与原子核内的粒子的安置有关的能量，我们有核能的公式，但是我们不掌握它的基本定律。我们知道它不是电能，不是引力能，也不单纯是化学能，但是我们不知道它究竟是什么。看来它是一种新的能量形式。最后，与相对论相联系，有一个对动能公式的修正（你也可以用你喜欢的任何别的说法来称呼它），使动能和另一个叫做质能的东西结合在一起。一个物体仅仅由于它存在就具有能量。如果有一个正电子和一个电子，静静地呆着什么也不做，不必考虑重力，不必考虑别的东西，然后它们走到一起就消失了，释放出一定量的辐射能，其数量是可以算出来的。我们需要知道的只是物体的质量。它与物体是什么无关——我们使两个粒子消失，而得到一定量的能量。它的公式是爱因斯坦首先发现的：$E=mc^2$。

从我们的讨论明显看出，能量守恒定律对我们分析问题是极其有用的，这在前面几个例子中已经表明了，在这些例子中用不着知道一切公式。如果我们已经有了各种能量的公式，我们就可以分析哪些过程会发生而不必深入探究细节。所以我们对守恒定律是非常感兴趣的。问题自然就来了：在物理学中还有哪些别的守恒定律？还有另外两条与能量守恒相似的守恒定律。一条叫做动量守恒，另一条叫做角动量守恒。后面对它们会有更多的讨论。归根结底，我们并没有对守恒定律有深刻的理

解。我们不理解能量守恒。我们并不把能量理解为一定大小的小团。你可能听说过，光子是以小团的形式出现，一个光子的能量是普朗克常量乘频率。这是对的，但是由于光的频率可以是任意值，没有任何定律说能量必须是某个确定的大小。不像丹尼斯的积木，能量可以有任何量值，至少今天是这样理解的。因此目前我们并不把能量理解为对某种东西点数，而只是把它看作一个数学量，它是一个抽象和相当古怪的东西。在量子力学里，发现能量守恒原来和世界的另一个重要属性有十分紧密的联系，这个属性就是事物不依赖于绝对时间。我们可以在一个给定时刻安排做一个实验并且做完它，然后在晚些时候再做相同的实验，它们的结果将完全相同。这是否严格正确，我们还不知道。如果我们假定它正确，加上量子力学的一些原理，我们就可以导出能量守恒定律。这是一件相当微妙和有趣的事，不容易解释。别的守恒定律也与时空性质有联系。动量守恒在量子力学中是和下述命题相联系的：在什么地方做实验没有什么关系，结果总是相同。最后，就像空间无关性与动量守恒相联系、时间无关性与能量守恒相联系一样，如果我们转动实验仪器的方向，也不会造成实验结果的差别，世界对角度取向的这种不变性与角动量守恒相联系。除了这几条守恒定律之外，还有另外三条守恒定律，迄今为止我们可以说它们是精确的。这三条守恒定律理解起来要简单得多，因为它们的本性属于数积木那一类。

这三条守恒定律的第一条是电荷守恒定律，它的意义只不过是，数一下有多少个正电荷和负电荷，将正电荷的数目减去负电荷的数目，结果的数字永远不变。你可以用一个负电荷抵消一个正电荷，但是你不能生成正电荷对负电荷的净余额。另外两条定律和这一条类似，其中一条叫做重子数守恒。有一些奇怪的粒子，例如中子和质子，它们叫做重子。在自然界的任何反应中，如果数一数有多少个重子进入一个过程，那么过程结束时的重子的数目[14]将相同。另一条守恒律是轻子数守恒。属于轻子的粒子是电子、μ子和中微子。还有一个电子的反粒子，即正电子，其轻子数为-1。数一数参加一个反应的轻子的总数，表明反

应开始前和结束后的数目不变，至少迄今所知是这样。

这就是六条守恒定律，其中三条是微妙的，涉及空间和时间，另外三条是简单的——从它们只是对某种东西计数的意义上说。

关于能量守恒，应当指出的是，可用的能量是另一个问题——海水的原子有大量的振动，因为海水有一定的温度，但是如果不从别的什么地方取得能量，就不能把它们聚集为一个确定方向的运动。这就是说，虽然我们知道能量是守恒的，但是人类可以利用的能量却不是那么容易保存。确定有多少能量可供利用的定律叫做热力学定律，它们包括一个关于不可逆热力学过程的概念，叫做熵。

最后，我们说一说今天我们可以从哪里获得能量供应的问题。我们的能量来源是太阳、雨水、煤、铀和氢。雨水是太阳造成的，煤也是，因此所有这些都来自太阳。虽然能量是守恒的，但是大自然似乎对节约能量并不感兴趣；她从太阳释放出大量的能量，但是其中只有二十亿分之一落到地球上。大自然有能量守恒，但是并不真正在乎它；她向四面八方散发着巨大数量的能量。我们已经从铀获得了能量；我们也可以从氢得到能量，不过现在还只是在爆炸和危险的条件下。如果它可以在热核反应中受到控制，那么可以证明，每秒从大约10升水中得到的能量就等于整个美国的发电功率，也就是说，每分钟用600升水，就有了足够的燃料来供应今天美国所用的全部电能！因此，该由物理学家想办法，把我们从对能量的需要中解放出来。这是可以做到的。



第5章
万有引力理论

5-1　行星运动

在这一章里我们将讨论人类心智做出的最深远的推广之一。在赞美人类心智的同时，我们应该抽点时间对大自然顶礼膜拜，表示我们对她的肃然敬畏，因为她能如此彻底而且普遍地遵从像引力定律这样一个简洁优美的原理。引力定律是什么？它说，宇宙中每个物体都吸引每一个别的物体，任何两个物体之间的引力正比于每个物体的质量，反比于它们之间距离的平方。这句话在数学上可以表示为下面的式子：

$$F=Gmm'/r^2。$$

在这个定律的基础上再加上下述事实，即一个物体在一个力的作用下会在力的方向上得到加速，加速度的大小反比于该物体的质量，那就万事俱备了，一个天分够高的数学家就能够演绎出这两条原理的全部结论。但是，既然我并不假定你有这样高的天分，我们将较详细地讨论这些结论，而不只是留给你两条空洞的原理。我们将简短地叙述发现引力定律的故事，讨论它的某些结论，它在历史上的作用，这样一条定律遗留下来的未解之谜，以及爱因斯坦对这一定律的一些改进；我们还要讨论这条定律与其他物理定律的关系。所有这些在一章里是说不完的，但是这些题目会在恰当的时候在随后各章里讨论。

整个故事从古人观察行星在恒星之间的穿行、并最后推断出行星是围绕太阳运行（哥白尼后来又重新发现了这个事实）开始。行星究竟是怎样环绕太阳运行，究竟是以什么样的运动环绕太阳运行，那还需要做更多的工作。15世纪初，就行星是否真正环绕太阳运行，曾有过激烈的争论。第谷·布拉赫（Tycho Brache）有一个不同于古人提出的任何观点的想法：这些关于行星运动本性的争论，只有在足够精确地测量出行星

在天空的实际位置后，才能最好地解决。只有当测量精确地显示出行星是怎样运动之后，才有可能建立这个或那个观点。这是一个非同小可的想法——为了发现某种东西，去做一些细致的实验要比引用深刻的哲学论据强。在这个想法指引下，第谷·布拉赫在他位于哥本哈根附近汶岛上的天文台里多年观察行星的位置。他编制了卷帙浩繁的星表，在第谷去世后，数学家开普勒研究了这些星表。开普勒从这些数据发现了几条非常漂亮、卓越而又简单的关于行星运动的定律。

5-2　开普勒定律

开普勒首先发现，每个行星是沿一条叫做椭圆的曲线环绕太阳运行的，太阳是这个椭圆的一个焦点。一个椭圆并不仅仅是个卵形的东西，而是一条非常明确而精密的曲线，可以用两个揿钉（每个焦点上各揿一个）、一条线和一支铅笔画出来；用更数学的话来说，椭圆是与两个固定点（焦点）的距离之和为常数的所有的点的轨迹。或者，如果你愿意的话，也可以说它是一个压扁的圆（图5-1）。

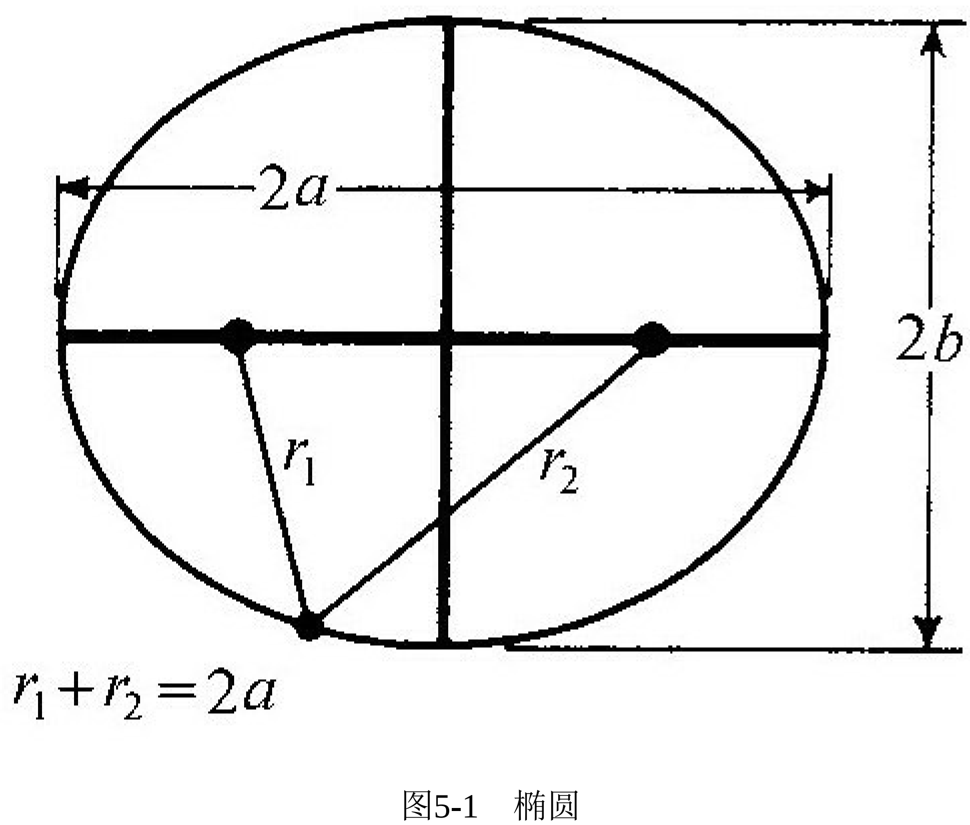


图5-1　椭圆

开普勒第二个观察结果是，行星不是以均匀的速率环绕太阳运行，它们离太阳越近，就运动得越快，离太阳越远，就运动得越慢，精确地说是这样：在任何相继的两个时刻，比方说相隔一星期，观察一颗行

星，并且对每个观测位置画出到行星的径矢[15]。行星在这个星期里所经过的轨道上的一段弧与两条径矢围出一块平面面积，即图5-2中涂阴影的区域。如果在离太阳更远的那一部分轨道上（那里行星运行得更慢）也进行两次类似的相隔一星期的观测，那么用类似方法围出来的面积与前一观测中围出的面积完全相同。因此，按照开普勒第二定律，每个行星的轨道速度使径矢在相等的时间里扫过相等的面积。

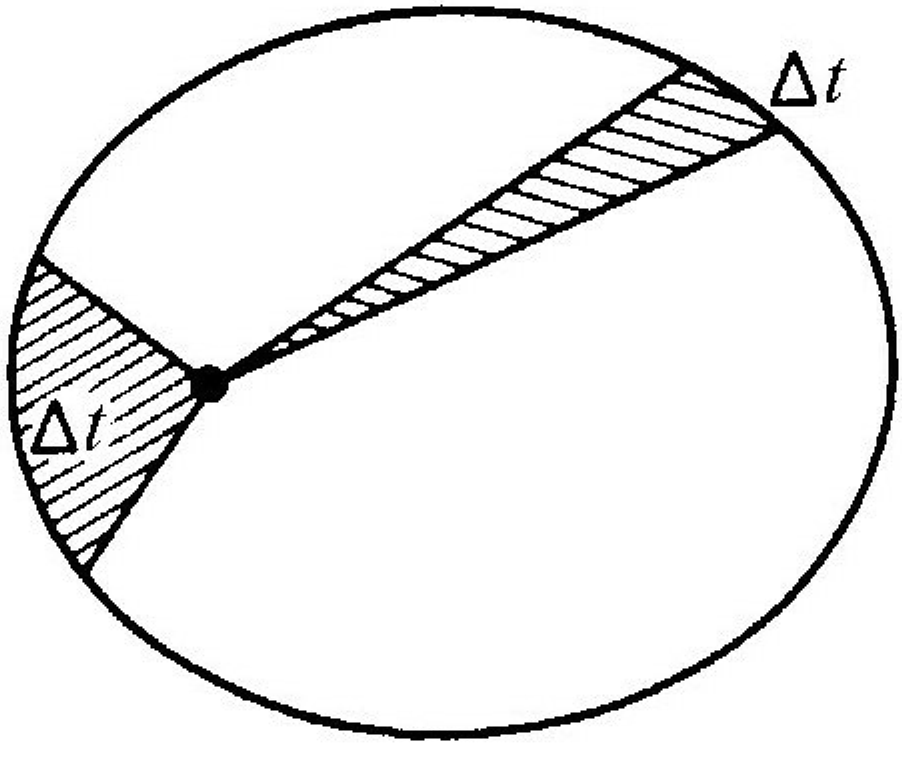


图5-2　开普勒面积定律

开普勒第三定律发现得要晚得多；这条定律和前两条属于不同的类型，因为它不只是涉及单个行星，而是把各个行星的运动联系起来。这条定律说，在比较任何两个行星的轨道周期和轨道大小时，周期正比于轨道大小的3/2次方。在这句话里，周期是指行星绕其轨道走完整整一圈的时间间隔，而轨道大小则是椭圆轨道的最大直径（更专门的术语叫长轴）。更简单些，如果行星是按圆形轨道运行（它们近似就是这样

的），那么绕圆周走一圈所需的时间同直径（或半径）的3/2次方成正比。于是开普勒的三条定律是：

1.每个行星沿一条椭圆轨道绕太阳运行，太阳是椭圆的一个焦点。

2.从太阳到行星的径矢在相等的时间间隔里扫过相等的面积。

3.任何两个行星的周期的平方正比于它们各自的轨道的半长轴的立方：$T \sim a^{3/2}$。

5-3 动力学的发展

当开普勒发现这些定律时，伽利略正在研究运动定律。问题是，是什么使行星绕太阳运转？（当时有一个理论是，行星绕太阳运转是因为后面有看不见的天使在推它们，他们扑动着翅膀推着行星前进。你将看到，这个理论现在有一些修正，人们发现，为了使行星转圈儿，看不见的天使必须向一个不同的方向飞，而且他们没有翅膀。在其他方面，新理论倒是与原来的理论多少有些相似！）伽利略发现了一个有关运动的非常值得注意的事实，它对理解开普勒的诸定律是必不可少的，那就是惯性原理——如果有个东西在运动，不和别的东西接触并且完全不受干扰，它就将以匀速沿直线永远这样运动下去。（为什么它保持直线匀速运动？我们不知道，但它就是这样。）

牛顿进一步明确了这个想法，他说改变物体运动的惟一方法是施之以力。如果物体运动得越来越快，就一定有一个力施加在运动方向上。另一方面，如果物体的运动改变到一个新的方向，那它就受到了一个侧向力的作用。于是牛顿就加进来一个观念：要改变物体运动的速率或方向，就需要一个力。例如，把一块石头拴在绳子上，让它做圆周运动，就需要有一个力把它保持在圆周上。我们必须拉住绳子。事实上，运动定律是，力产生的加速度与质量成反比，或力正比于质量乘加速度。一个东西的质量越大，为了产生一个给定的加速度，所需要的力越大。（质量可以这样测量：把不同的石头系在同一条绳子的末端，使它们以同样的速度做同样大小的圆周运动。这时会发现，所需要的力的大小不同，质量大的物体所需要的力也大。）从这些考虑得出的一个高明见解是，为了将一颗行星保持在它的轨道上，并不需要一个切向力（天使并非一定要在切向飞行），因为行星在这个方向上会做惯性运动。如果根本没有东西打搅它，行星会沿着切线方向的直线飞走。但是实际运动是偏离这条如果没有力作用物体本应沿之运动的直线的，这一偏离基本上

与运动的方向垂直，而不是在运动的方向上。换句话说，由于惯性原理，控制一颗行星环绕太阳运动所需的力不是一个环绕太阳的力，而是一个向着太阳的力。（如果有一个力向着太阳，太阳理所当然可能就是这个天使！）

5-4　牛顿引力定律

牛顿凭着他对运动理论的透彻理解，觉察到太阳可能是支配行星的运动的力的起源和关键所在。他向自己证明（也许不久我们也将能证明），在相等的时间里扫过相等的面积这一事实，正是全部偏离都精确地在径向这个命题的一个准确无误的标志，换句话说，面积定律是所有的力都精确地指向太阳这一观念的直接结果。

然后，通过分析开普勒第三定律，能够证明，行星离太阳越远，所受的力越弱。比较离太阳距离不同的两个行星，分析表明，它们所受的力反比于各自离太阳的距离的平方。把这两条定律结合起来，牛顿就得出结论，必定存在这样一个力，它与距离的平方成反比，而方向沿着两个物体的连线。

牛顿是一个对事物中的普遍性有很强的感觉的人，他当然会假设，这个关系不只是适用于太阳拉住行星，而是可以更普遍地应用。例如，当时已经知道，木星也有多个卫星环绕着它转动，一如月亮环绕地球运行。牛顿认定，每个行星都用一个力拉住自己的卫星。他已经知道把我们拉在地球上的力，因此他提出，这是一个普遍存在的力——每个物体都吸引任何一个别的物体。

下一个问题是，地球拉我们的力是否和它拉月球的力是“同一种”力，也就是说，是否与距离的平方成反比。如果地面上的一个物体，当它在静止状态下被放开时，在第一秒钟里往下掉4.9米，那么在同一时间里，月球下掉多少呢？我们也许会说月球根本不下掉。但是，如果没有对月球的拉力，它会沿直线飞走，但它并不飞走而是环绕地球做圆周运动，因此实际上它是从如果根本没有力作用时本应在的位置上往里掉了。从月球轨道的半径（它大约是38万千米）和它环绕地球转一

圈的时间（大约29天），我们可以计算月球在其轨道上1秒钟走多远，然后可以算出它1秒下掉多少。[16]最后求出的这个距离大约是1秒钟里1/8厘米。它和平方反比律符合得很好，因为地球的半径是6400千米，如果一个离地球中心6400千米的物体在第一秒钟里下掉4.9米，那么距离为38万千米，或60倍远地方的物体，只应当下掉4.9米的1/3600，这大约就是1/8厘米。牛顿想用与此相似的计算来检验他的引力理论，他非常仔细地进行了计算，但是却发现差异很大，以致他认为这个理论与事实矛盾，因而没有发表他的结果。6年后，一次对地球大小的新测量表明，天文学家们以前所用的月地距离是错的。牛顿听说后，用正确的数据再次进行了计算，得到了非常符合一致的结果。

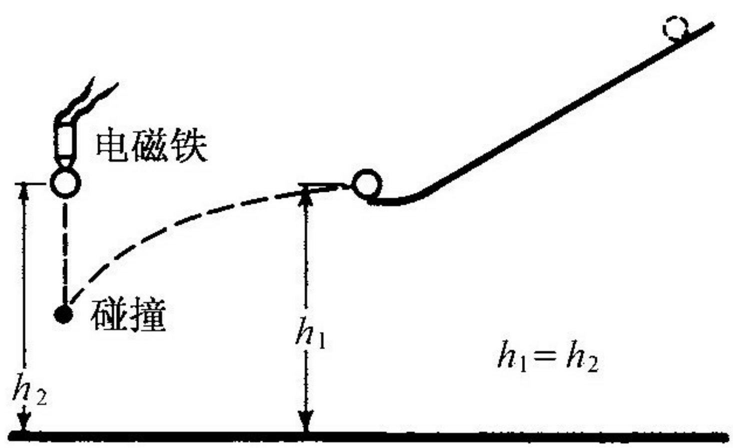


图5-3　演示垂直运动与水平运动互不相关的装置

月球“往下掉”的观念会引起一些混乱，因为你看到，它丝毫没有和我们更靠近。这个观念很有意思，值得进一步解释。我们说的月球往下掉，是在这个意义上说的，那就是它从没有力作用时本应遵循的那条直线上掉出来。让我们举一个地面上的例子。一个在地球表面附近松开手的物体在第一秒钟里将下掉4.9米。一个水平射出的物体也将下降4.9米；尽管它在水平方向运动，它还是在相同的时间里下降相同的4.9米。图5-3是一台用来演示这一情况的仪器。在水平轨道上有一个小球，它将要被向前推一段小距离。在同一高度上有另一个小球，它将要

垂直下落。有一个电开关控制它们，使得当第一个小球离开水平轨道的那一刻，第二个小球也松开往下掉。它们在同一个时刻到达同一个高度，这一点可以由人们亲眼看到两个球在半空中相撞而得到证明。像子弹这样的物体，水平射出时，1秒钟里可以走很长的路程——也许有600米——但它仍将下降4.9米，即使它是在水平方向上瞄准射出的。如果我们射出的子弹越来越快，会发生什么情况呢？别忘了地球的表面是弯曲的。如果我们射出的子弹足够快，那么当它下降4.9米时，也许正好是在地面之上它原来的高度上。怎么会这样呢？它仍然在下掉，但是因为地球也向下弯，因此它就“环绕着”地球往下掉。问题是，它在1秒钟里要走多远，才使地球也比地平线低4.9米？在图5-4中我们看到半径为6400千米的地球及其切线，如果没有外力的话子弹本应沿这条切线直线飞行。现在，我们应用几何学中的一条奇妙的定理：垂直于直径的半弦是它所分割的直径的两段的比例中项，我们看出，所走的水平距离是下落的高度4.9米和地球直径12800千米的比例中项。0.0049×12800的平方根很接近于8千米。于是我们看到，如果子弹的速率为每秒8千米，那么它就将以每秒4.9米的相同速率不停地向地球下落，但是永远不会更接近地球，因为地球也在不断地弯曲离开子弹。正是这个原因，使加加林以大约每秒8千米的速率把自己保持在太空中走了40000千米，环绕地球一圈。（实际上他走的路程更长一些，因为他飞行的高度比地面高一些。）

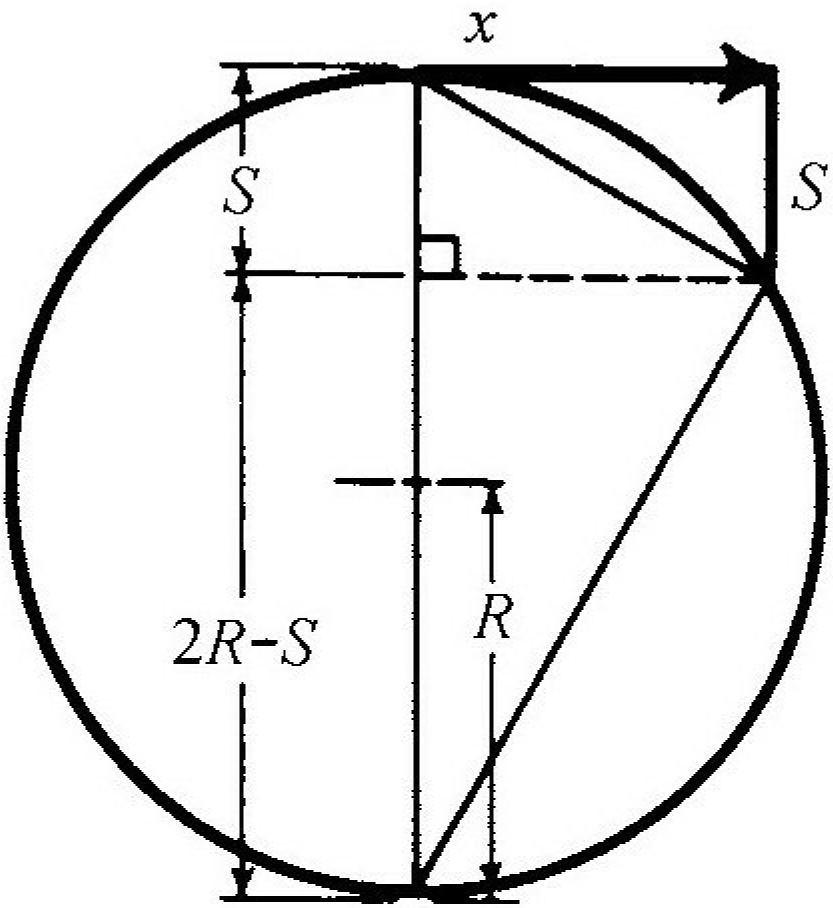


图5-4　圆周运动的向心加速度。由平面几何，$x/S=(2R-S)/x\approx 2R/x$，其中R是地球的半径，6400千米，x是每秒“水平通过”的距离；S是每秒“下落”的距离4.9米

任何对一条新定律的伟大发现，只有当它的“产出”大于我们对它的“投入”时，这个发现才是有用的。牛顿是用开普勒的第二和第三定律推出他的引力定律的，那么，他预言了一些什么呢？首先，他对月球运动的分析就是一个预言，因为它把地面上物体的下落同月球环绕地球的运动联系起来。其次，这个轨道是一个椭圆吗？我们在后面一章里将会看到，怎么能够精确地计算运动，并且的确能够证明它是一个椭圆，[17]因此就无须用额外的事实来解释开普勒第一定律了。于是牛顿做出了他第一个有力的预言。

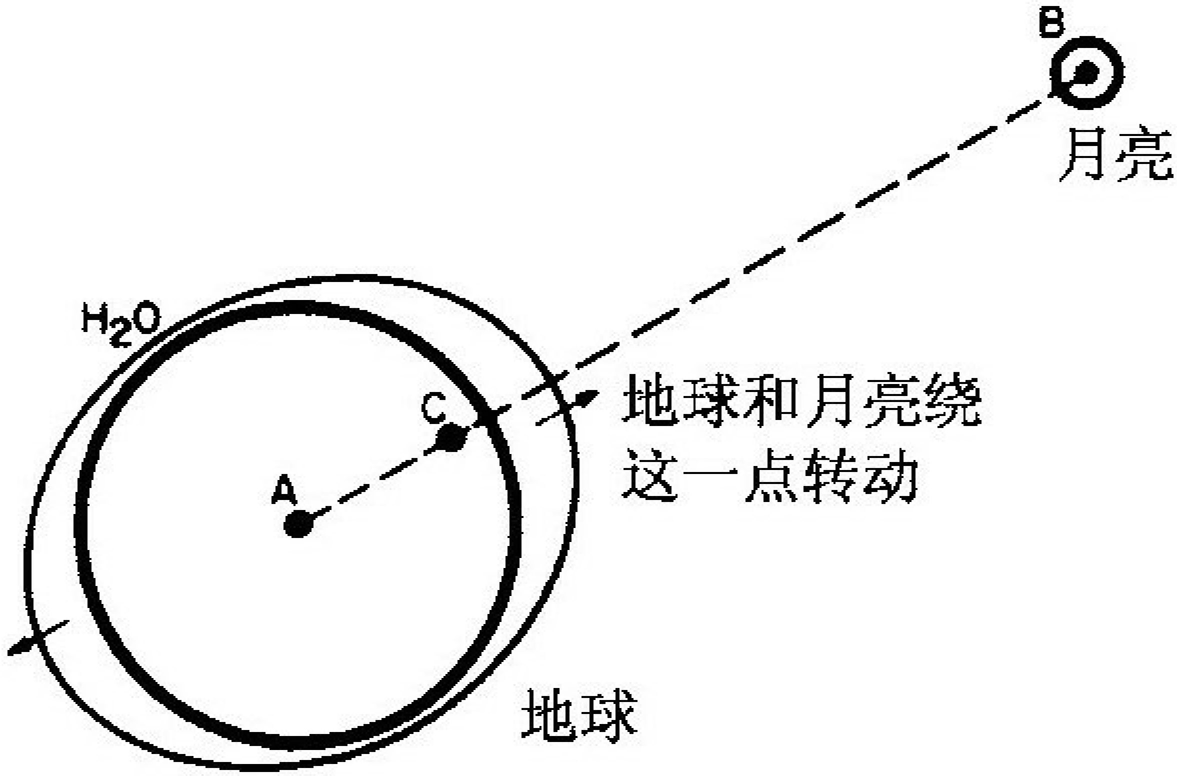


图5-5　引起潮汐现象的地-月系统

引力定律解释了许多以前不理解的现象。例如月亮对地球的引力引起潮汐，这在那时还是一个谜。月亮把它下面的水拉起来并造成涨潮——这人们以前也曾想到过，但是他们没有牛顿聪明，因此他们以为每天应该只有一次涨潮。其理由是，月亮把它下方的水向上拉，造成一次潮涨和一次潮落，由于地球在月亮下面自转，就使一个地方的潮水每24个小时涨落一次。实际情况是潮水每12个小时涨落一次。另一个学派则主张，涨潮应当出现在地球的另一侧，他们的理由是，月亮把地球从水里拖出来！这两个理论都是错的。实际的机制是，月球对地球和对水的引力在中心处“平衡”，但是更靠近月球的水受到的引力大于平均值，离月球更远的水受到的引力小于平均值。而且，水可以流动而更刚硬的地球则不能。真实的情况是这两件事的结合。

我们说的“平衡”是什么意思？什么东西平衡？如果月球把整个地球

拉向它，为什么地球不干脆“向上”掉到月球上去？这是因为地球玩着和月球一样的魔术，它也在环绕一点转动，这一点在地球内部，但不在地心。并不是月球绕地球转动，而是地球和月球两个都在绕一个中心位置转动，每一个都在向这个共同的中心位置下落，如图5-5所示。这个环绕共同中心的运动是平衡掉每一个的下落的原因。因此地球并不是沿一直线运动，而是做圆周运动。地球上离月球远的一面的水没有得到平衡，因为月球的吸引力在那里比在地心处弱，在地心处，月球的吸引力刚好和“离心力”平衡。这一不平衡就使水上升，离开地心。在靠近月球的一面，月球的吸引力更强，不平衡是向着空间相反的方向，但仍然是离开地心。净结果就是每天有两次涨潮。

5-5　万有引力

当我们理解了引力以后，还能理解哪些别的东西呢？每个人都知道地球是圆的。为什么它是圆的？这很容易回答，它是引力的结果。我们能够理解地球是圆的，其原因仅仅是因为每个物体都吸引别的每个物体，因此地球尽可能把自己吸引在一起。如果我们更深入一步，那么地球并不是精确的球形，因为它在自转，这带来了离心效应，这个效应在赤道附近倾向于和重力抗衡。最终表明，地球应当是椭圆形的，我们甚至得到了这个椭圆的正确形状。于是，我们仅仅从引力定律，就能推出太阳、月亮和地球应当接近于球形。

用引力定律我们还能做些什么？如果我们看一看木星的月亮，我们就能了解有关它们围绕木星运行的一切情况。顺便说一下，曾经有过一个涉及木星月亮的困难，值得在此一提。罗默（Roemer）非常仔细地研究过这些卫星，他注意到这些月亮有时看来超前于预定的时刻出现，有时则落后于预定的时刻。（人们通过长期的观测并求出这些月亮环绕木星一圈各自平均所需的时间，就可以得出它们出现的时刻表。）当木星特别接近地球时，它们超前；当木星远离地球时，它们滞后。这是一件按照引力定律非常难以解释的事——事实上，如果找不到别的解释的话，它就将枪毙这个美妙的理论。一条定律，只要在一个它本应适用的地方不适用，它就是错的。但是解释这个矛盾的理由非常简单而又漂亮：看到木星的月亮需要一些时间，因为光从木星来到地球需要时间。当木星离地球较近时，这个时间短一些；当木星离地球较远时，这个时间长一些。这就是这些月亮随着它们是接近还是远离地球，而稍微超前或稍微推迟出现的原因。这个现象表明光不是即时传播的，并且提供了光速的第一个估计值。这是在1676年完成的。[18]

如果所有的行星都相互作用，那么，控制比方说木星环绕太阳运行

的力就不只是来自太阳的力；还有来自比方说土星的引力。这个力实际上并不强，因为太阳的质量比土星大得多，但是毕竟有一点引力，因此木星的轨道就应当不是一个完美的椭圆，事实上的确不是；它稍微偏离正确的椭圆轨道，在它的周围“晃动”。这样的运动显得更复杂一些。人们曾试图在引力定律的基础上分析木星、土星和天王星的运动。把这些行星中每一个对每一个别的行星的影响都计算进来，看看是否仅仅用引力定律就能完全理解这些行星运动中的小偏差和不规则性。嘿，你瞧，对木星和土星，一切都很好，但是天王星有点不对头。它的行为很特别。它不是在一个精确的椭圆轨道上运行，但这是可以理解的，因为有木星和土星对它的吸引。不过，即使考虑了这些吸引，天王星仍然不按正确的方式运行，因此引力定律面临被推翻的危险，这种可能性不能排除。两个人，英国的亚当斯（Adams）和法国的勒威耶（Leverrier），各自独立地想到了另一种可能性：也许还存在另一颗昏暗和难以看见的行星，这颗行星人们还从来没有观察到过。这个行星N可能对天王星有引力作用。他们计算了这样一颗行星应当在什么地方，才能引起所观察到的扰动。他们各自写信给有关的天文台，说：“先生们，把你们的望远镜对准天上某个某个地方，你将看到一颗新行星。”至于他们是否注意这个信息，那常常就看你写信给什么人了。勒威耶写信去的那个天文台注意了这个信息，他们观察了，行星N就在那里！于是另一个天文台也迅速地在随后几天里进行了观察，也看到了这颗新行星。

这个发现表明，牛顿的定律在太阳系内是绝对正确的；但是它们能够被推广到离我们最近的行星这个相对说来比较小的距离范围之外吗？第一个考验是这个问题：恒星也像行星一样互相吸引吗？我们在双星里看到了它们互相吸引的确凿证据。图5-6表示一对双星——两颗非常靠近的恒星（图中还有第三颗星，使我们可以判断照片没有转过一个角度）。图中也显示了这几颗星在几年后的样子。我们看到，相对于那颗“固定”的恒星，双星的轴已经转过了一个角度，也就是说，两颗星互相环绕着旋转。它们是在按照牛顿定律旋转吗？对一个这样的双星系统

中两颗星的相对位置的仔细测量结果示于图5-7中。在图中我们看到一个漂亮的椭圆，这一测量于1862年开始，一直持续到1904年（到现在它一定又转了一圈了）。一切都与牛顿定律相符，除了天狼星A不在焦点上。为什么会这样？因为椭圆的平面不在“天空平面”上。我们不是垂直于轨道平面来看的，当斜着看一个椭圆时，它仍是一个椭圆，但是它的焦点不再在原地了。于是我们能够按照引力定律的要求来分析相互环绕运动的双星。

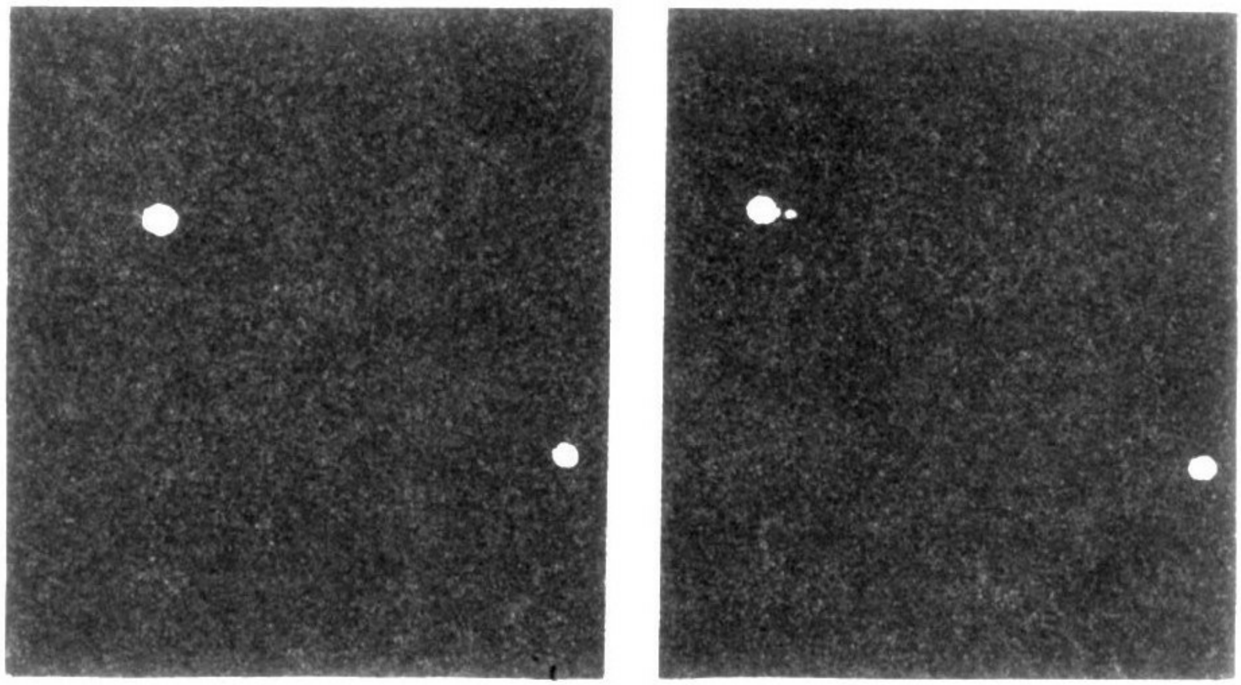


图5-6　一个双星系统

图5-8表明，引力定律甚至在更大的距离上也是正确的。如果有人看不出引力在这里起作用，那他就没有脑子。这个图显示的是天空中最美丽的事物之一——一个球状星团。所有的点都是恒星。虽然它们看起来像是向着中心密集地挤成一团，其实这是由于我们的仪器的分辨率不足所致。实际上，即使是最中心部分的恒星之间的距离也是非常大的，而且它们极少碰撞。内部的恒星比外部多，而且越往外越少。显然，这些恒星之间有一个吸引力。很清楚，在这样巨大的尺度上（也许是太阳

系大小的10万倍）也存在着引力。让我们走得更远，看一整个星系，如图5-9。这个星系的形状表明它的物质有一个明显的要凝聚成团的倾向。当然我们不能证明这里的引力定律也是精确的平方反比律，只能说明，在这样巨大的尺度上，仍然有一个吸引作用，把整个星系保持在一起。有人也许会说，“嗯，这一切都很巧妙，但是为什么它不聚集成一个球呢？”因为它在旋转并且具有角动量，这是它收缩时所不能放弃的；它必然主要是顺着转轴的方向收缩，收缩为一个平面。（顺便说一句，如果你要找一个好问题，那么，星系的旋臂如何形成，是什么决定了这些星系的形状等，都还没有解决。）但是清楚的是，星系的形状应归因于引力，虽然星系结构的复杂还不允许我们进行全面的分析。一个星系的尺度大致是5万到10万光年，而地球到太阳的距离只是八又三分之一光分，因此你可以看到这些尺度是多么巨大。

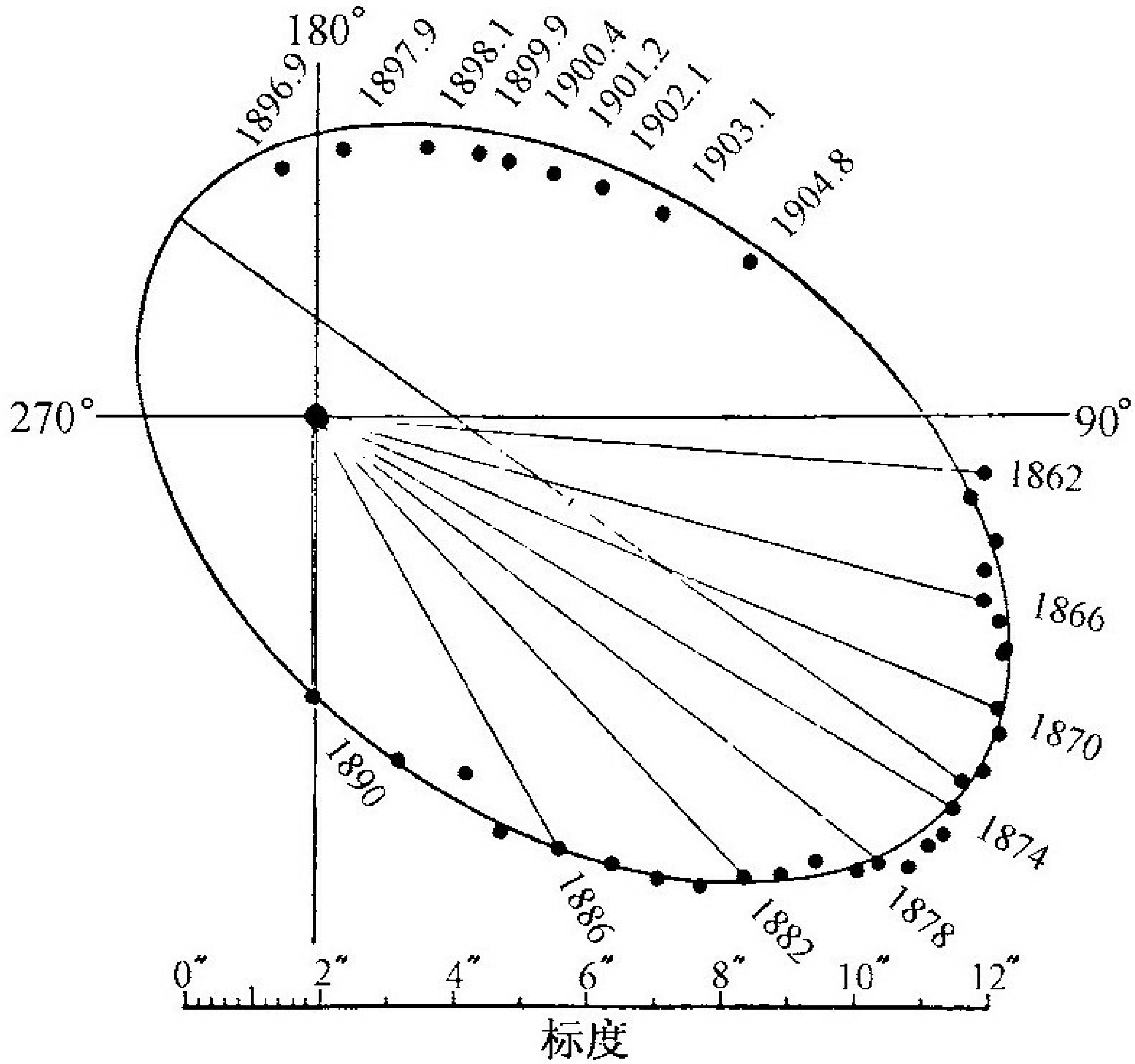


图5-7　天狼星B相对于天狼星A的轨道

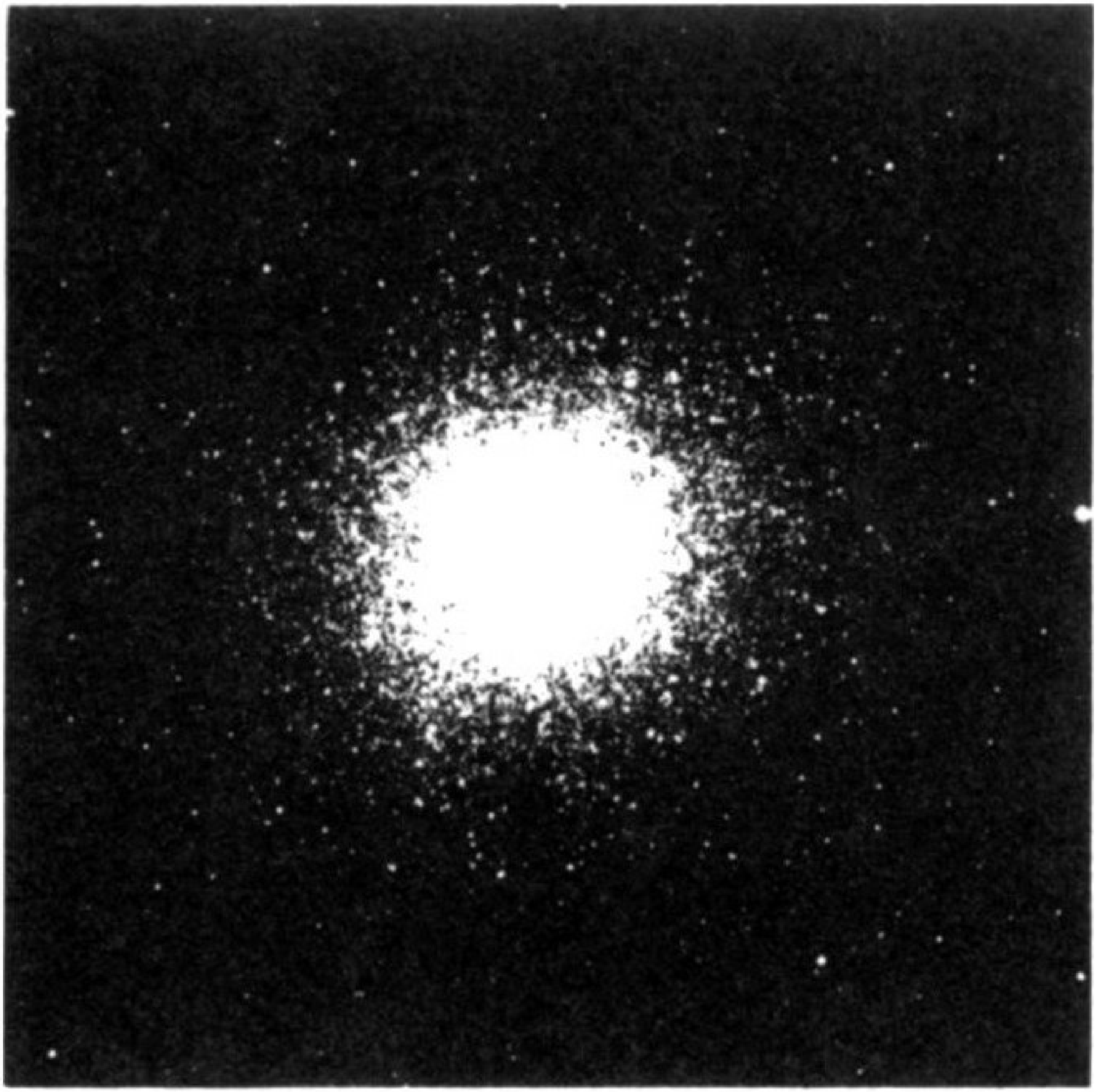


图5-8　一个球状星团

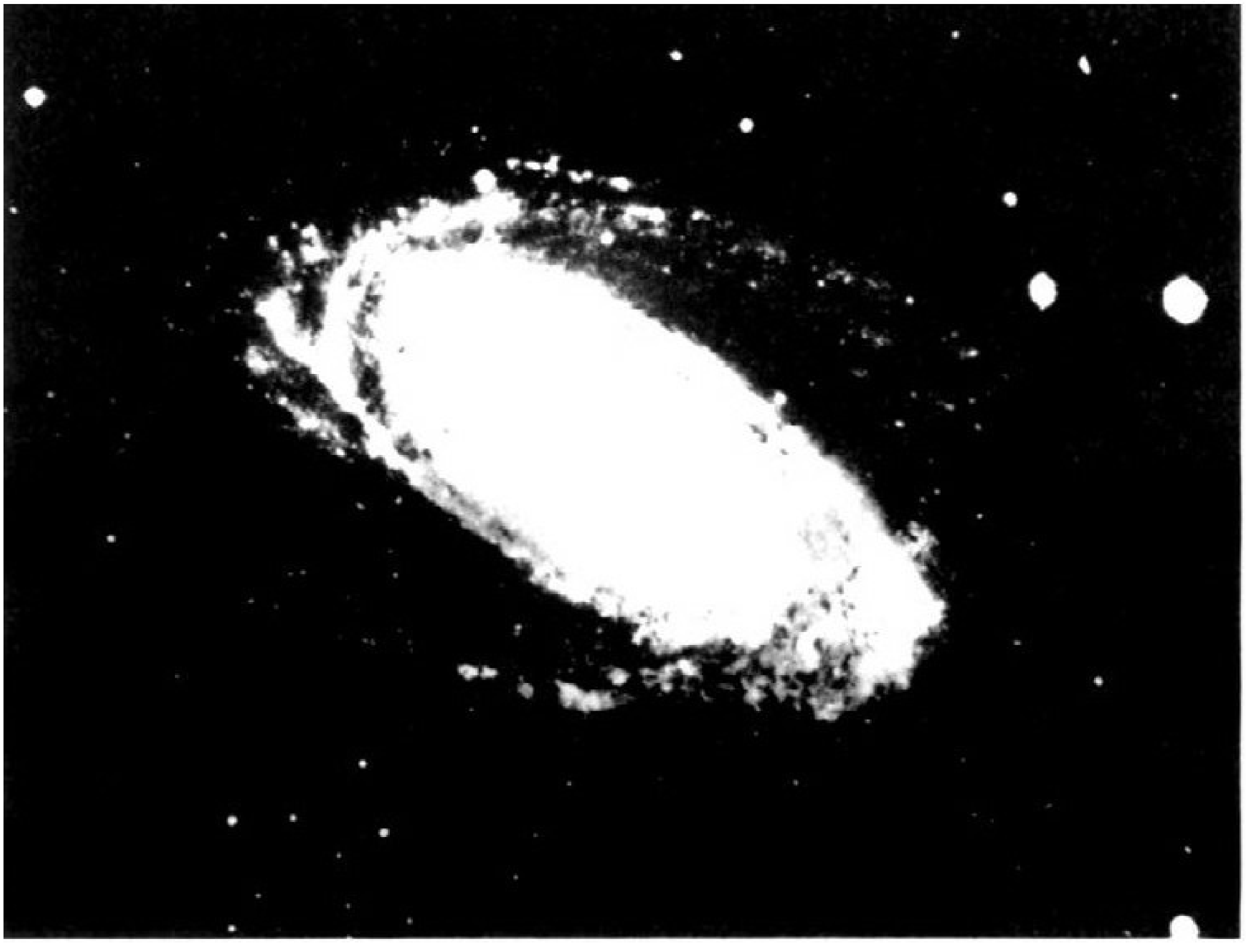


图5-9　一个星系

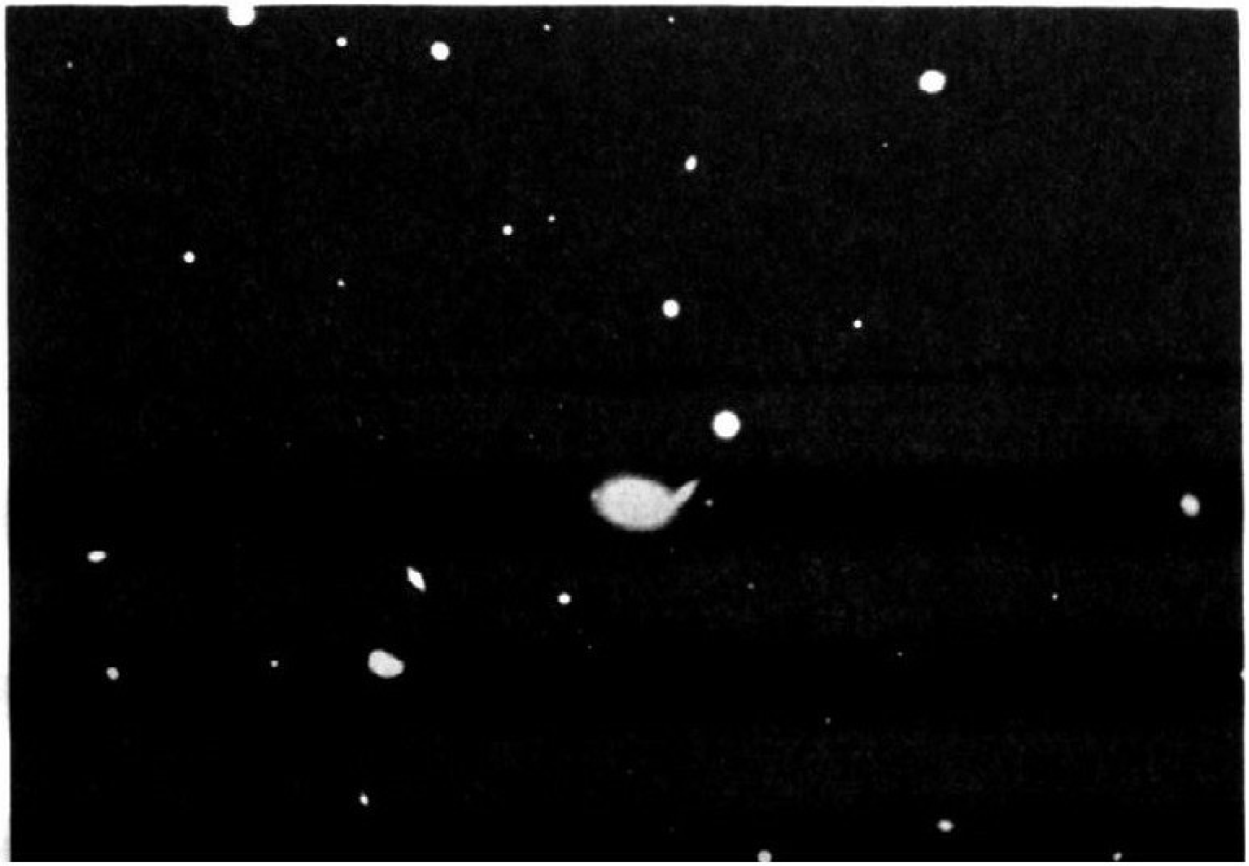


图5-10　一个星系团

在还要大得多的尺度上看来引力也存在，如图5-10所示，图中显示许多“小东西”聚成一团。这是星系团，就像恒星构成星团一样。因此星系在这样的距离上也相互吸引，聚集成团。也许引力甚至在几千万光年的距离上也存在；就我们今日所知，看来引力永远以与距离平方成反比的方式向外伸展。

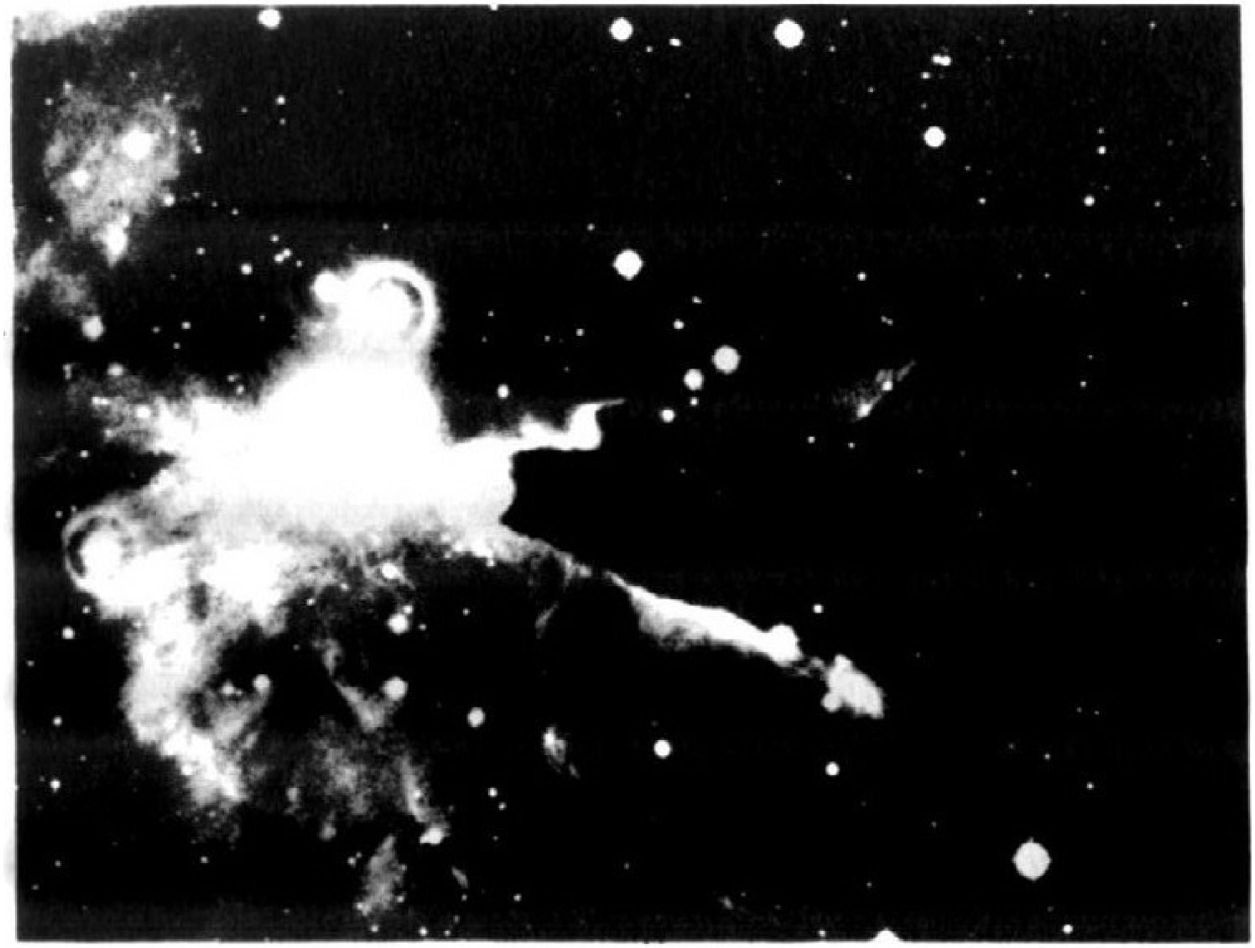


图5-11　一团星际尘埃云

从引力定律我们不仅能够理解星云，还能够对恒星的起源有一些想法。如果我们有一片很大的尘埃和气体云，如图5-11所示，尘埃碎片相互之间的引力作用可能使它们形成小团块。图中有一些依稀可辨的小黑斑，它们可能是尘埃和气体聚集的开始，由于它们之间的引力，它们开始形成星体。我们是否曾看到过一颗恒星的形成，还是一个有争论的问题。图5-12是认为我们曾看到过的一个证据。图的左边是1947年拍的一张气体区域的照片，其中有几个星体；右边是仅仅7年后拍的同一区域的另外一张照片，它增加了两个新的亮点。是气体聚集得足够多、引力作用得足够强、把它聚集成了一个足够大的球，使得星体的核反应在其内部开始发生，把它变成了一颗星体吗？也许是，也许不是。在仅仅7

年里，我们就能看到一颗星把自己变成可见的，这是不近情理的；而居然一下子看到两个，那就更不可能了！

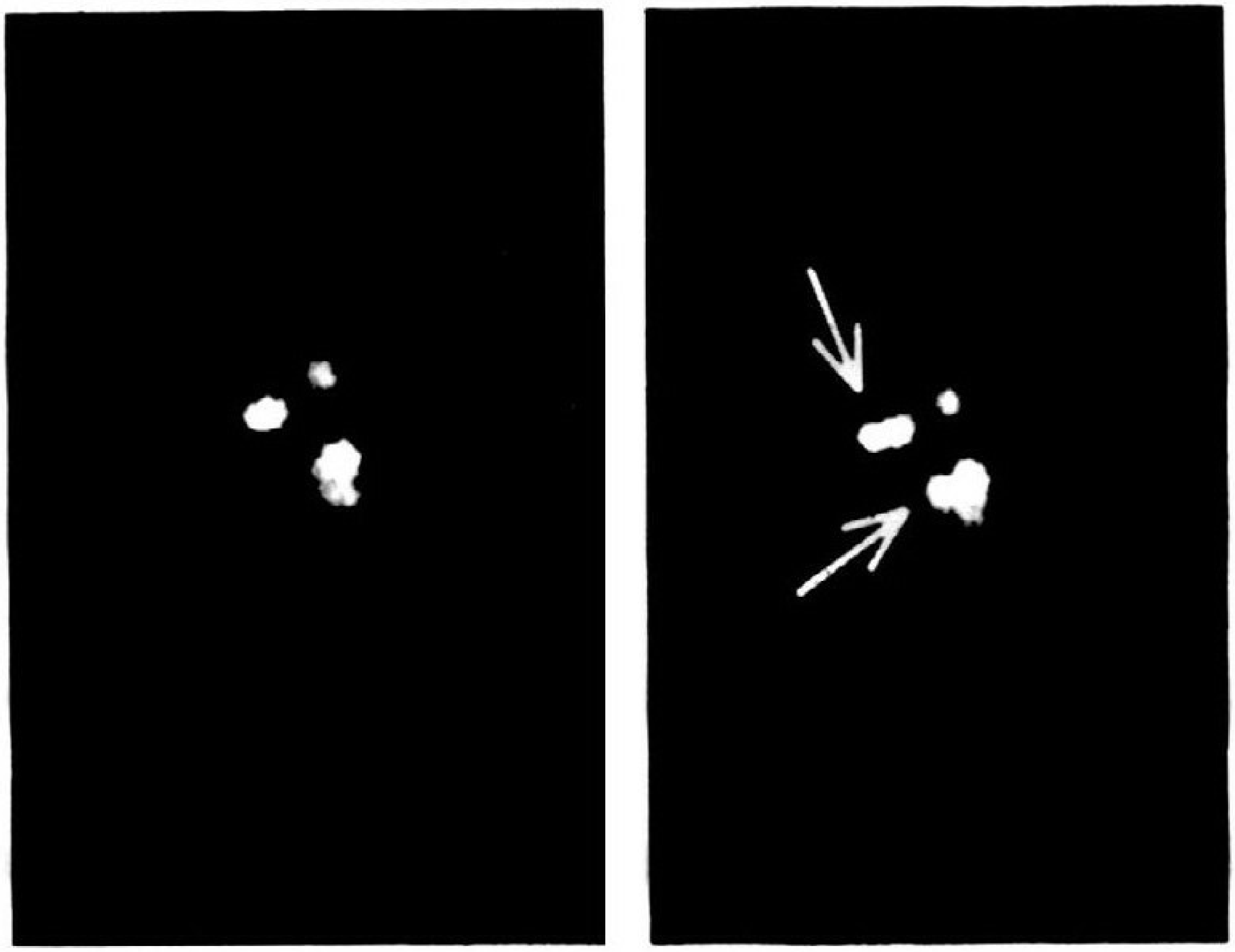


图5-12　新星的形成

5-6　卡文迪什实验

因此，引力伸展到极大的距离上。但是，如果在任何两个物体之间都有一个力，那么我们就应该能够测量出我们周围的两个物体之间的力。为什么我们不能取一个铅球和一个大理石球，观察大理石球怎样向铅球滚过去，而必须观察两颗恒星互相环绕着旋转呢？在这样简单的方式下做这样一个实验的困难在于，这个力非常微弱或者纤细。必须极其小心地来做实验，这意味着要把仪器封装在真空里，确保它不带电，等等；这样才能测量出这个力。这个测量是由卡文迪什（Cavendish）首次做的，他用的仪器如图5-13所示。这个实验首次表明了两个固定的大铅球和两个较小的铅球之间的直接作用力，这两个小铅球位于一根横杆的两端，横杆用一根非常纤细、叫做扭丝的金属

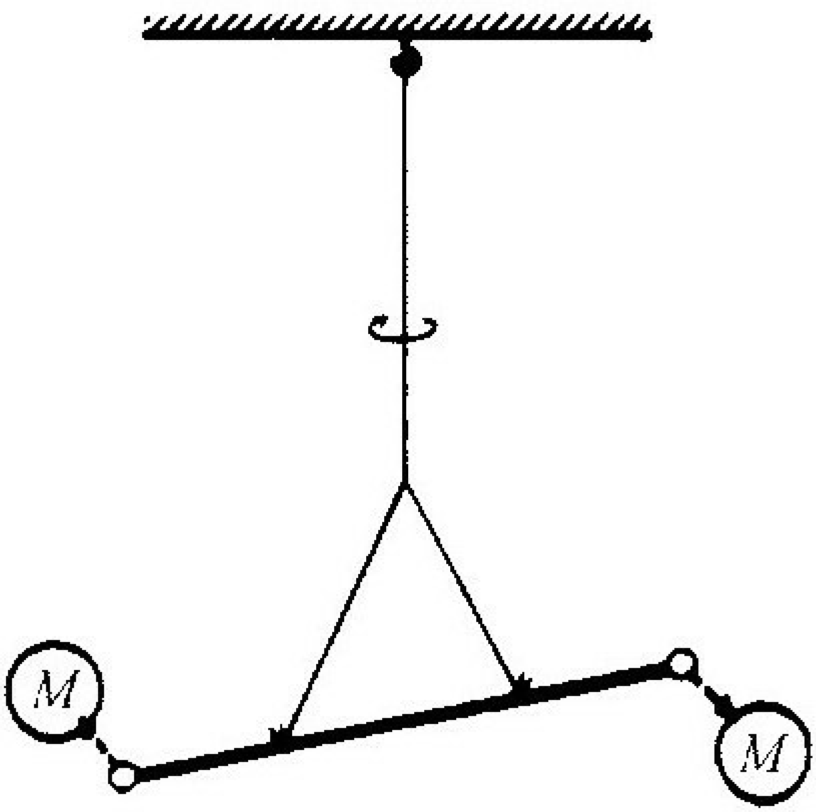


图5-13　卡文迪什用来验证小物体之间的万有引力定律和测量引力常数*G*值的仪器的简图

丝悬挂起来。通过测量这根扭丝扭转的角度，可以测量出这个力的强度，从而验证它是与距离的平方成反比，并测定它的大小。于是，就可以精确确定公式

$$F=Gmm'/r^2$$

中的系数*G*，因为所有的质量和距离都是已知的。你会说，“对地球我们早就知道这个力了。”是的，但是我们不知道地球的质量。从这个实验知道*G*并且知道重力的大小之后，我们就可以间接知道地球的质量有多大！这个实验曾经被称为“称量地球”的实验。卡文迪什宣称他是在称量地球，但是事实上他测量的是引力定律中的*G*。这是惟一的能够测量地球质量的方法。最后得到*G*的数值是

$$6.670\times10^{-11}\text{牛顿·米}^2/\text{千克}^2\text{。}$$

引力理论的伟大成就在科学史上所产生的重大影响，是怎样估计也不过分的。试把这个定律的简单明晰同早年流行的不完整的知识、同当时无休无止的争论和悖论、混乱和缺乏证据做一比较吧，想想这一事实：一切月亮、行星和恒星都受这样一条简单定律的支配，而且人居然能够理解它，并推导出行星应当怎样运动！这是科学在后来的年代里得到成功的原因，因为它给了我们希望，别的自然现象也可能有这样简单漂亮的定律。

5-7　引力是什么

但是这条定律真是这么简单么？它的机制是什么？我们所做的全部只是描述地球如何绕太阳转，但是我们并没有说是什么使它这样运行。牛顿对此没有做任何假设；他只满足于找出它做什么，而没有深入研究它的机制。从那时以来，没有人给出过任何成功的机制。这是物理定律的特征，它们都具有这种抽象的特性。能量守恒定律是关于一些必须计算出来并且加在一起的一些量的一条定理，而并没有触及其机制；同样，力学中那些重要定律也是定量的数学定律，我们不知道它们的机制。为什么我们能够用数学来描述大自然，而不了解它们背后的机制？没人知道。我们必须继续沿着这条道路前进，因为用这种方法我们发现了更多的东西。

人们曾经为引力设想过多种机制。其中有一种值得在此说一下，许多人曾一再想到过它。起初，“发现”它的人曾非常激动和高兴，但很快就发现它是不正确的。它最早是在1750年前后被提出的。假定在空间里有许多粒子以很高的速度在一切方向上运动，并且在穿过物质时只被少量地吸收。当它们被地球吸收时，它们给地球一个冲量。但是，由于各个方向上的粒子数目一样多，这些冲量都平衡掉了。但是当有太阳在附近时，那些穿过太阳飞向地球的粒子被太阳吸收了一部分，因此来自太阳的粒子就比来自其他方向的粒子要少一些。于是，地球就感觉到有一个指向太阳的净冲量，并且不需要多少时间就可以看出，它与距离的平方成反比——因为当距离变化时太阳对我们所张的立体角与距离的平方成反比。这个机制有什么毛病呢？它包含了一些不正确的新结论。这个特殊的想法有以下的麻烦：地球在环绕太阳运动时，撞上的来自其前方的粒子要比来自其后方的粒子多（当你在雨中奔跑时，打在你脸上的雨滴要比打在后脑上的雨滴多！）。因此给予地球的冲量来自前方的更多，地球将会感到一个对其运动的阻力，并且将在其轨道上逐渐慢下

来。可以算出经过多长时间地球就会由于这个阻力停下来，结果是地球能够保持在它的轨道上的时间不是很长，因此这种机制不成立。从来还没有提出过一种机制，它既能说明引力，又不预言一些不存在的现象。

下面我们将讨论引力和其他各种力可能有的关系。现在还没有一种用别的力来说明引力的解释。它不是电或诸如此类的什么东西的一个方面，所以我们没有什么解释。但是，引力和别的力是十分相似的，注意到它们的相似之处是有趣的。例如，两个带电体之间的电力和引力定律很相像，电力等于一个带负号的常数乘上两个电荷之积，并且反比于距离的平方。它是在相反的方向——同号相斥。但是两条定律都含有同样的与距离的函数关系，这难道不引人注目吗？也许引力和电力的关系要比我们想象的密切得多。曾经有过许多想要把引力和电力统一起来的企图；所谓“统一场论”只不过是这些企图中特别优美的一个；但是，在比较引力和电力时，最有趣的事是这两个力的相对强度。任何包括它们二者的理论必须也能导出引力的大小。

如果我们用某种自然单位，取两个电子（自然界中的普遍的电荷）之间的电斥力和它们之间由于其质量而产生的引力来比较，我们可以测量电斥力和万有引力的比值。这个比值与距离无关，是自然界的一个基本常数。其大小如图5-14所示。两个电子之间的引力与电斥力之比是$1:4\times10^{42}$！现在的问题是，这样巨大的一个数字从何而来？这个数字不是像一个跳蚤的体积与地球的体积之比那样只是一个偶然的数字。我们比较的是同一事物电子的两个自然的侧面。这个大得难以置信的数字是一个自然常数，因此它包含了自然界中某种深层的东西。这样一个惊人的数字能从哪里来呢？有人说，总有一天我们将会找到一个“宇宙方程”，这个方程的一个根就是这个数。很难找到这样一个方程，它的自然根是这样大的一个数。别的可能性也有人想到过；其中之一是把它同宇宙的年龄联系起来。显然，我们必须在某个地方找到另一个大数。那么，我们指的是以年为单位的宇宙年龄吗？不是，因为年不是一个“自

然”单位；它是人设计出来的。作为某个自然单位的一个例子，让我们考虑光穿越一个质子的时间，10^{-24}秒。如果我们把这个时间同宇宙的年龄2×10^{10}年相比较，其比值为10^{-42}。它后面有同样个数的零，因此曾有人提出，引力常数同宇宙年龄有关。如果情况是这样，引力常数就会随时间变化，因为随着宇宙年龄变大，宇宙年龄和光穿越质子的时间的比值也逐渐增大。的吗？当然，这种变化是如此之小，很难确定。

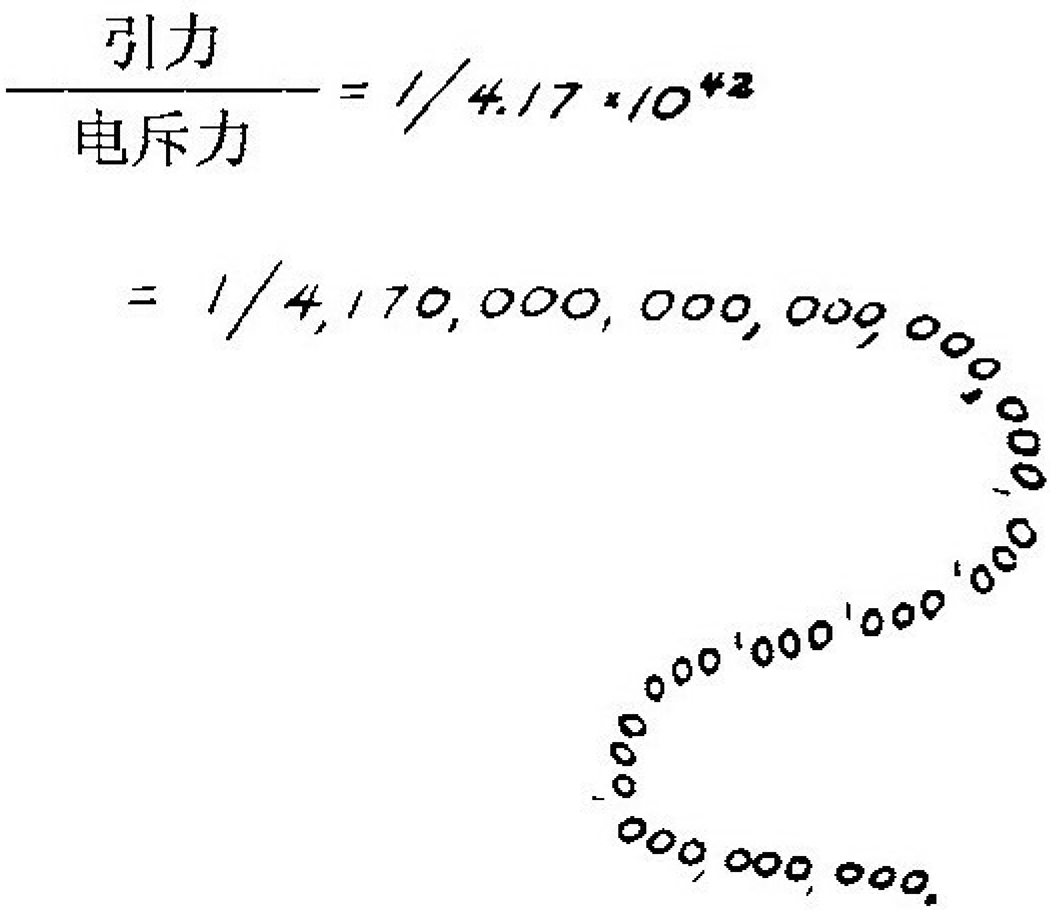


图5-14　两个电子之间的电力作用和引力作用的相对强度。

我们能够想到的一个检验方法是确定在过去10^9年里这种变化可能产生的效应，这段时间大约是从地球上最早有生命出现到现在的时间，是宇宙年龄的十分之一。在这段时间里，引力常数可能已增大大约10%。人们发现，如果考虑太阳的结构——太阳物质的重量和其内部产

生辐射能的速率之间的平衡，我们就可以推出，如果引力增强10%，那么太阳的亮度的增大要比10%大得多——与引力常数的6次方成正比！如果计算当引力变化时地球轨道怎么变化，我们发现地球那时更靠近太阳。把这两个因素综合在一起，地球的温度将比现今高大约100摄氏度，所有的水不会在海洋里，而是以水蒸气的形式存在于空气中，因此生命无从在海洋中发端。因此现在我们不相信引力常数随宇宙的年龄变化。但是，我们刚才给出的这样一些论据并不是很有说服力的，因此争论还没有完全结束。

引力正比于质量是一个事实，而质量从根本上说是惯性的量度，即拉住一个物体做圆周运动的困难程度的量度。因此若有两个物体，一个轻一个重，由于引力作用在同一个圆轨道上以同样的速率围绕一个更大的物体运行，这时这两个物体将保持在一起，由于做圆周运动需要一个向心力，较大的质量所需要的力也较大。这就是说，对于质量较大的物体，它所受的引力也正好以恰当的比例增强，使得两个物体仍将一起做圆周运动。如果一个物体原来是在另一个里面，它将仍然在它里面；这是一个全面的平衡。于是，加加林或季托夫发现宇宙飞船舱内的东西都是“失重”的；如果他们碰巧掉下比方说一支粉笔，这支粉笔会和整个宇宙飞船以完全相同的方式环绕地球运行，因此它看起来就会悬浮在他们面前的空中。这个力以很高的精度精确地与质量成正比，这一点是非常有趣的；因为如果不是这样，就会有某些效应，依靠这些效应质量（惯性质量）就会不同于重量（引力质量）。人们已经以很高的精度用实验检验过，不存在这样的效应；这个实验是厄特沃斯（Eötvös）于1909年首次做的，不久前由迪克（Dicke）以更高的精度再次做过。对于试验过的一切材料，质量和重量在10^{-9}的精度内精确地成比例。这是一个值得称道的实验。

5-8 引力和相对论

另一个值得讨论的题目是爱因斯坦对牛顿引力定律的修正。尽管牛顿引力定律带来了这么大的激动人心的成就，但是它并不正确！爱因斯坦把相对论引进来，对它进行了修正。按照牛顿的看法，引力效应是瞬时的，这就是说，如果我们移动一个质量，我们将立即感觉到一个新的力，因为这个质量已在新的位置上了；用这种手段，我们可以用无穷大的速率发送信号。爱因斯坦提出了种种论据，表明我们不能以快于光速的速率发送信号，因此引力定律一定是错了。在将延迟考虑进来而对牛顿引力定律进行修正之后，我们得到一条新定律，叫做爱因斯坦引力定律。这条新定律的一个容易理解的特征是：在爱因斯坦的相对论中，任何具有能量的东西也具有质量——这里质量的意义是，它能受到引力的吸引。即使是光，因为它有能量，它也有一个"质量"。当一束含有能量的光经过太阳附近时，它会受到太阳的吸引，于是光不走直线，而是被偏转。例如，在日蚀时，太阳周围的星星看起来好像是从如果太阳不在那里时它本应在的位置移开了，这个现象已经被观察到了。

最后，让我们对引力和别的物理理论做一些比较。近年来我们已经发现，所有的物质都是由微小粒子组成的，并且自然界中存在几种相互作用，诸如核力等。这些核力或电力中，还未曾发现有哪一个可以用来解释引力。自然界的量子力学一面，还没有被搬到引力上来。当尺度小到我们需要考虑量子效应时，引力效应却是如此之弱，还不需要发展引力的量子理论。另一方面，为了我们各个物理理论内在的一致性，重要的是看一看牛顿引力定律在修正为爱因斯坦的定律后，能否进一步修正到与量子力学的不确定原理相容。这个修正现在尚未完成。



第6章
量子行为

6-1　原子力学

在前面几章里，我们讨论了为理解光——或一般地说电磁辐射——的大部分重要现象所必需的一些基本概念。（我们留下了几个特殊的题目到来年再讲，具体地说就是光密介质的折射率和全内反射的理论。）我们讨论过的这些内容叫做电磁波的“经典理论”，大量事实表明，它非常适合描述自然界的许多效应。我们暂时还不必为光的能量是成团地或以“光子”形式出现而操心。

我们想讨论的下一个问题是比较大块物质的行为——比方说它们的力学性质或热性质。在讨论这些性质时，我们会发现，“经典理论”（或较老的理论）几乎立即就失效了，因为物质实际上是由原子大小的粒子组成的。然而，我们仍将只讨论事物的经典方面，因为这是我们用我们学过的经典力学惟一能理解的部分。但是我们不会太成功。我们将发现，物质的情况与光的情况不同，在这里我们很快就会遇到困难。当然，我们可以继续避开原子效应，但是我们不这么做，我们要在这里插进来一段短短的插曲，描述物质的量子行为的基本观念，即原子物理学的量子观念，使你对我们暂时要回避的东西有一点概念。因为我们不得不暂时回避一些重要的题目，而这些题目我们将来不可避免地要接触到。

因此，我们现在来简单地介绍一下量子力学，但是实际上深入研究这个题目只能留待以后进行。

“量子力学”是对物质行为直至其细节的详细描述，特别是对发生在原子尺度上的事件的详细描述。在非常小的尺度上，事物的行为一点也不像你有直接经验的任何东西。它们的行为不像一个波，不像一个粒子，不像一团云，不像一个弹子球，不像一个挂在弹簧上的重物，不像

你曾看见过的任何东西。

牛顿曾认为光是由粒子组成的，然而我们看到，人们发现它的行为像一个波。但是后来（20世纪初）又发现，光的行为有时的确像是粒子。在历史上曾以为电子的行为像一个粒子，但是这时又发现，在许多方面它的行为像一个波。因此实际上它既不像粒子，也不像波。现在我们干脆放弃这种把它与别的东西比拟的做法，我们说："它和哪一个都不像。"

不过，好在还有一点——电子的行为和光的行为彼此很相像。所有的微观客体（电子、质子、中子、光子等）的量子行为都相同；它们都是"粒子波"（或者你愿意叫的任何名称）。因此我们所学的关于电子（我们将用它做例子）的性质也可以应用于所有的"粒子"，包括光的"粒子"——光子。

在20世纪的头25年中，逐渐积累了关于原子和小尺度上行为的知识，它们给出了微小客体的行为的一些迹象，也引起了越来越多的混乱，这些混乱终于在1926年和1927年由薛定谔、海森伯和玻恩解决了。他们终于获得了对微小尺度上物质的行为的一个贯彻一致的描述。我们在这一章里要研究这种描述的主要特点。

由于原子行为同日常经验是如此的不同，人们很难习惯于它，不论是新手还是有经验的物理学家，都觉得它奇特和神秘。即使是专家也不能照他们所想的方式理解它，而这是完全合理的，因为一切人类的直接经验和直觉都是关于大的客体的。我们知道大的客体的行为将是怎样，但是小尺度事物的行为偏偏不是这样。因此我们不得不用一种抽象或想象的方式来学习它，而不是与我们的直接经验相联系。

在这一章里我们将直截了当地讨论以其最奇特的方式表现的这种神秘行为的基本要素。我们挑选一种不可能（绝对不可能！）以任何经典

方式解释的一种现象来考察，这种现象中却隐藏了量子力学的核心内容。实际上，它包含了那个独一无二的秘密。我们不能从“解释”它的行为机制的意义上来说明这个秘密，我们只能告诉你它的行为是怎样的。在告诉你它的行为是怎样的同时，我们就告诉了你全部量子力学的基本特色。

6-2　用子弹做的实验

为了试图理解电子的量子力学行为，我们将在一个特殊的实验装置中，把它们的行为同更熟悉的像子弹这样的粒子的行为和像水波这样的波的行为做一对比。我们首先考虑子弹在图6-1所示的实验装置中的行为。我们有一挺机枪射出一连串子弹。它不是一支好枪，因为它将子弹随机地撒在一个相当大的角度范围内，如图所示。在机枪前面有一堵墙（用钢板做成），墙上开有两个孔，孔的大小刚好足以让子弹通过。墙外有一道后障（比方说一道厚木墙），它将“吸收”打上去的子弹。在墙的前方有一个叫“子弹探测器”的东西，它可以是一个装有沙子的箱子。任何进入探测器的子弹将被留在那里积累起来。我们可以随时出空箱子，清点它所捕获的子弹的数目。探测器可以沿着图中的x方向上下移动。用这套装置，我们可以用实验求得下述问题的答案：“一颗子弹穿过墙上的孔后到达后障上离中心为x处的概率是多少？”首先，你应该认识到我们谈的是概率，因为我们不能肯定任何一颗特定的子弹会到达什么地方。一颗碰巧打到一个孔上的子弹可能会从孔的边缘弹开，最后打在任何一个地方。所谓“概率”我们指的是一颗子弹打到探测器的机会，它可以通过在某一时间内打中探测器的子弹的数目除以在这段时间内打到后障上的子弹总数来量度。或者，如果我们假定在测量过程中机枪总是以同样的快慢射击，那么我们所要的概率就正比于在某个标准的时间间隔内到达这个探测器的子弹数目。

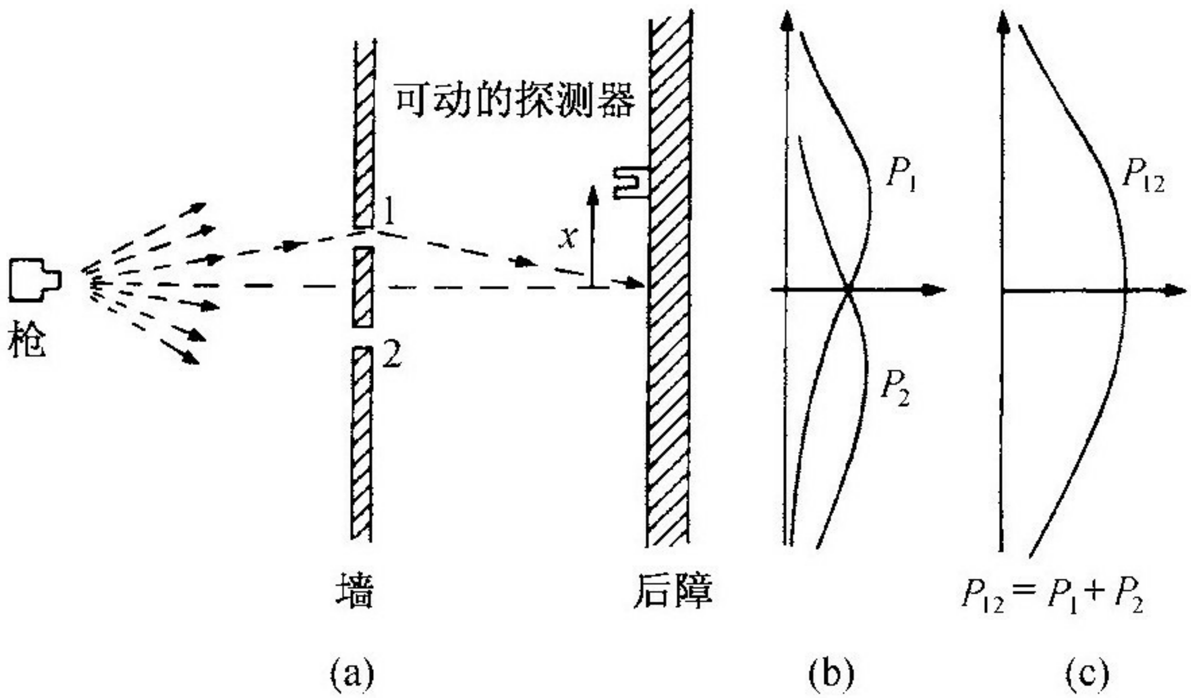


图6-1　用子弹做的干涉实验

为了当前的目的，我们要想象一个有些理想化的实验，这个实验中的子弹不是真正的子弹，而是不会破裂的子弹——它们不会裂成两半。在实验中我们发现，子弹总是整颗地到达，我们在探测器中找到的总是一颗完整的子弹。如果使机枪射击的速率非常慢，我们发现，在任何给定的时刻，要么没有任何子弹到达，要么有一颗而且只有一颗——正好一颗——子弹到达后障。而且，整颗子弹的大小肯定与机枪射击的速率无关。我们可以说：“子弹永远以相同的一颗一颗的形式到达。”我们用探测器测量到的是一整颗子弹到达的概率。而且我们还要测量这个概率和x的函数关系。用这套仪器进行的测量结果（我们还没有做过这个实验，实际上我们是在想象这个结果）画在图6-1（c）上。在图中我们把概率轴指向右方而x轴则在垂直方向，使x方向与仪器的x方向相合。我们把这个概率叫做P_{12}，因为子弹可能是穿过孔1过来的，也可能是穿过孔2过来的。P_{12}之值在图的中央附近大而当x很大时变小，这一点你不会感到惊奇。不过你可能会感到奇怪，为什么P_{12}在x=0处有极大值。如

果我们盖上孔2再做实验，然后盖上孔1再做一次，我们就会理解这一点。当孔2被盖上时，子弹只能穿过孔1，我们就得到图6-1（b）中用P_1标示的曲线。正如你期望的，P_1的极大值位于枪口和孔1的连线所在的x值上。当孔1被关闭时，我们得到图中所画的对称的曲线P_2。P_2是通过孔2的子弹的概率分布。比较图6-1（b）和图6-1（c），我们求得一个重要的结果：

$$P_{12} = P_1 + P_2 \tag{6.1}$$

概率简单地相加。两个孔都打开的效应是单独打开每个孔的效应之和。我们将把这个结果叫做“没有干涉”，其理由下面就会明白。关于子弹就讲这些。它们整颗地出现，并且它们到达的概率不呈现干涉。

6-3　用波做的实验

现在我们来考虑一个用水波做的实验。实验仪器示于图6-2中。我们有一个浅水槽，里面盛有水。一个标有“波源”字样的小物体用马达带动上下振动，产生圆形的波。波源的右边仍是一堵带两个孔的墙，墙外是第二道墙，为了使问题尽量简单化，我们假设这道墙是一个“吸收体”，因此到达它的波不发生反射。这可以用逐渐上升的“沙滩”做到。在沙滩前面放一个探测器，和以前一样，它可以沿x方向移动。这里的探测器是一个测量波动的强度的仪器。你可以想象它是一个测量波动高度的装置，但是它的刻度是正比于实际高度的平方而校准的，因此它的读数正比于波的强度。于是，我们的探测器的读数正比于波携带的能量——或更确切地说，正比于能量被带到探测器的速率。

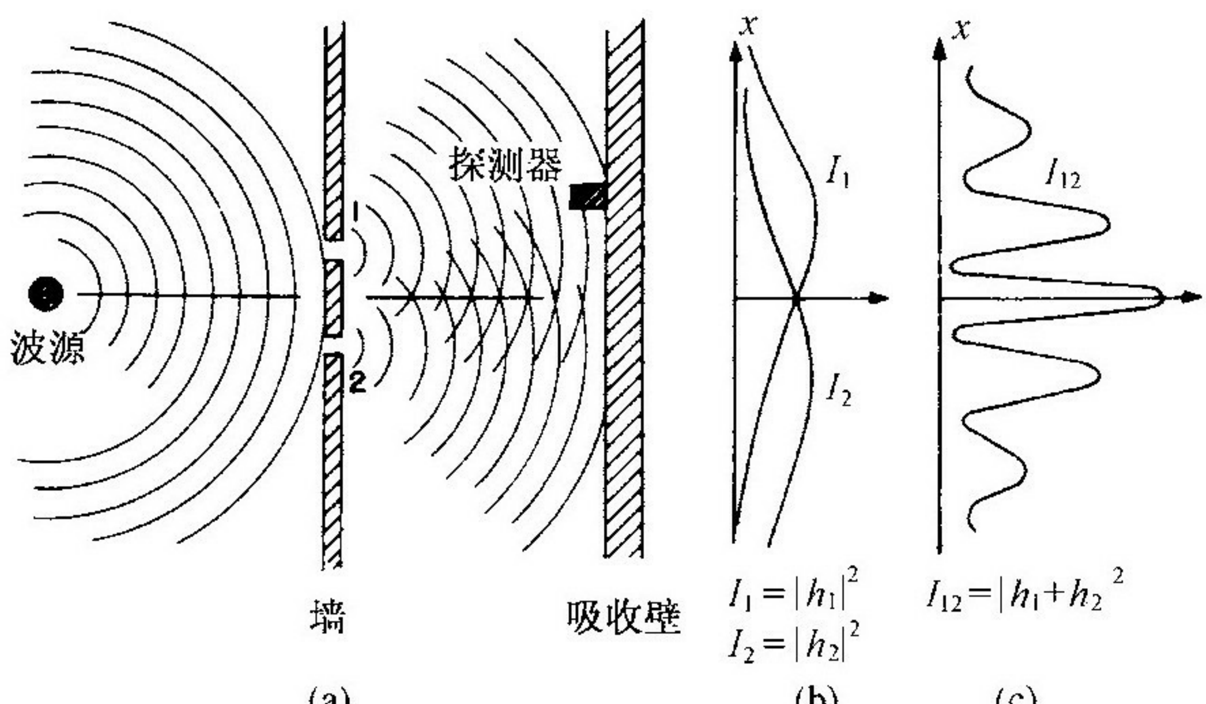


图6-2　用水波做的干涉实验

用我们这套波动实验仪器，该注意的第一件事是，波动的强度可以是任意大小。如果波源只做很小的运动，那么在探测器处只有一点点波动。波源的运动更大时，探测器处波的强度更强。波的强度可以有任意的值。我们不认为波的强度有任何“颗粒性”。

现在我们来测量不同x值处波的强度（保持波源一直作同样的振动）。我们得到图6-2（c）中标有I_{12}的样子很有趣的曲线。

在我们研究电磁波的干涉时，已经知道了这种图样是怎样产生出来的。在那里，我们观察到原来的波在两个小孔处发生衍射，从每个孔有新的圆形波传播出来。如果我们每次盖上一个孔，测量吸收体上的强度分布，我们将求得图6-2（b）所示的很简单的强度分布曲线。I_1是关上孔2时穿过孔1的波的强度分布，而I_2是关上孔1时穿过孔2的波的强度分布。

两个孔都打开时观察到的强度分布I_{12}肯定不是I_1与I_2之和。我们说这里发生了两个波的“干涉”。在某些地方，两个波“同相”，波峰加在一起得出一个大的振幅，从而给出一个大的强度，I_{12}在这些地方有极大值。我们说这两个波在这些地方发生“相长干涉”。只要探测器到一个孔的距离比探测器到另一个孔的距离大（或小）整数个波长，就会发生这样的相长干涉。

在两个波“反相”（相位差π）到达的那些地方，探测器上的合成波动的振幅是两个波振幅之差。两个波“相消干涉”，我们得到波的强度的一个很低的值。只要孔1到探测器的距离与孔2到探测器的距离相差奇数个半波长，我们就预期强度的值很低。图6-2中I_{12}曲线的最小值所在就对应于那些发生相消干涉的地方。

你会记得，I_1，I_2和I_{12}之间的定量关系可以用以下的方式表示：在

探测器处来自孔1的水波的瞬时高度可以写成$h_{12}e^{i\omega t}$（的实部），其中振幅h_1一般是一个复数。强度正比于高度的均方值，或者在使用复数的情况下，正比于$|h_1|^2$。同样，来自孔2的水波的瞬时高度为$h_2e^{i\omega t}$，其强度正比于$|h_2|^2$。当两个孔都打开时，两个波的高度相加给出合成波的高度（h_1+h_2）$e^{i\omega t}$和强度$|h_1+h_2|^2$。对于我们现在的目的，可以忽略掉比例常数，于是得到两个波发生干涉时适用的关系：

$$I_1=|h_1|^2,\ I_2=|h_2|^2,\ I_{12}=|h_1+h_2|^2。\tag{6.2}$$

你会注意到，这个结果同用子弹得出的结果（6.1）式很不相同。展开$|h_1+h_2|^2$，我们得到

$$|h_1+h_2|^2=|h_1|^2+|h_2|^2+2|h_1||h_2|\cos\delta。\tag{6.3}$$

其中δ是h_1和h_2之间的相位差。上式用强度可以写成

$$I_{12}=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos\delta。\tag{6.4}$$

（6.4）式中最后一项是“干涉项”。对水波我们就讨论到这里。其强度值可以是任意大小，并且它表现出干涉。

6-4　用电子做的实验

我们现在来想象一个用电子做的类似的实验。其原理见图6-3。我们制造一把电子枪，它由一根用电流加热的钨丝和环绕它的一个带孔的小金属盒构成。如果钨丝相对于金属盒带负电压，钨丝发射的电子将被加速向盒壁，有一些将穿过小孔跑出来。所有从电子枪跑出来的电子具有（近似）相同的能量。在电子枪的前面又是一堵墙（只不过是一片薄金属板），上面有两个小孔。墙外是另一块板，它将用作“后障”。后障前面放一个可移动的探测器。这个探测器可以是一个盖革计数器，或者一个与扬声器相连接的电子倍增管也许更好。我得马上告诉你，你不要试着去做这样一个实验（虽然你可能已经做过我们前面描述的两个实验）。这个实验从来没有以我们刚才描述的形式做过。麻烦在于，为了显示出我们感兴趣的效应，仪器的尺度必须小到不可能做出来的程度。我们是在做一个“思想实验”，我们之所以选择这样做是因为它易于想象。我们知道将会获得的结果，因为已经做过许多别的实验，在那些实验中已选取了合适的尺寸和比例以显示我们要在下面描述的效应。

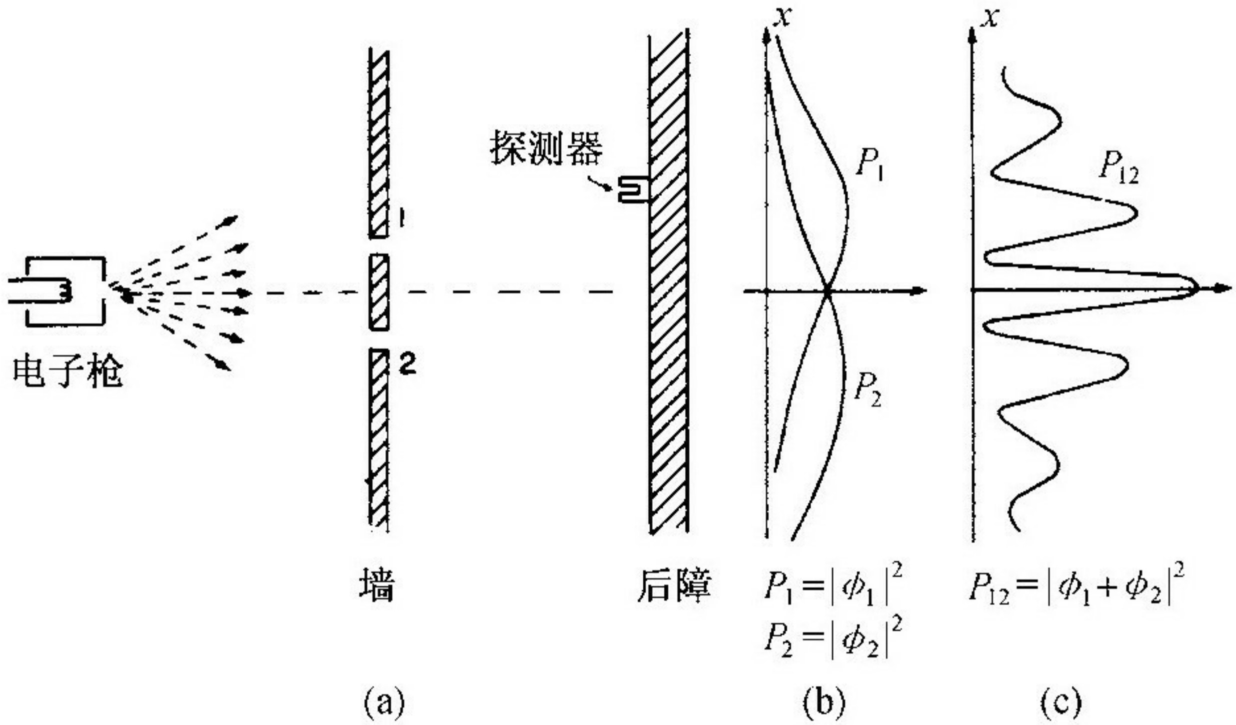


图6-3　用电子做的干涉实验

在电子实验中我们注意到的第一件事是，我们听到从探测器（即扬声器）发出的清晰的“喀哒”声。所有的“喀哒”声都相同，没有半个“喀哒”声。

我们还会注意到，“喀哒”声的出现很不规则，有点像这样：喀哒……喀哒喀哒……喀哒……喀哒……喀哒……喀哒喀哒……喀哒……等，就像你无疑听到过的盖革计数器工作时发出的声音一样。如果我们对足够长的时间里——比方说许多分钟里——听到的喀哒声进行计数，然后在另一个相等的时间间隔里再次进行同样的计数，我们会发现，两个数目非常相近。因此我们可以定义听到喀哒声的平均计数率（平均每分钟听到多少次喀哒声）。

随着我们四下移动探测器，喀哒声出现的速率或快或慢，但是每一个喀哒声的大小（响度）永远相同。如果我们降低电子枪中钨丝的温

度，喀哒声的出现速率就会慢下来，但是每次喀哒声的大小仍然和以前一样。我们还会注意到，如果我们在后障上放两个分开的探测器，那么一个或另一个探测器都会发出喀哒声，但是两个探测器决不会同时发喀哒声（除了有的时候两次喀哒声在时间上太接近，以致我们的耳朵感觉不出二者的间隔）。因此我们得出结论，到达后障的任何东西都是以“颗粒”形式到达的。所有的“颗粒”的大小都相同：只有整颗的“颗粒”到达，一次一颗。我们得说：“电子永远以完全一样的颗粒形式到达。”

正像我们用子弹做的实验一样，我们进而可以用实验求出下述问题的答案：“一个电子‘颗粒’在离中心的距离为x处到达后障的概率是多少？”同以前一样，保持电子枪的运作情况不变，观察喀哒声的快慢，我们就得到了相对概率。电子颗粒到达一个特定的x处的概率正比于在这个x处的喀哒声的平均计数率。

我们实验的结果是图6-3（c）中标有P_{12}的那条有趣的曲线。是的，电子的行为就是这样！

6-5　电子波的干涉

现在我们试着来分析图6-3中的曲线，看我们是否能理解电子的行为。我们要说的第一点是，既然电子是以颗粒形式到来的，那么每个颗粒，也可以叫一个电子，就要么穿过孔1要么穿过孔2到达后障。我们把这一点写成一个“命题”的形式：

命题A：每个电子要么穿过孔1，要么穿过孔2。

假定命题A成立，那么所有到达后障的电子可以分成两类：（1）穿过孔1的，（2）穿过孔2的。因此我们观察到的曲线一定是穿过孔1的电子的效应与穿过孔2的电子的效应之和。让我们用实验来检验这个想法。首先，我们对穿过孔1的电子进行测量。我们把孔2挡住，对探测器的喀哒声计数。从喀哒声的计数率，我们得到P_1。测量结果见图6-3（b）中标有P_1的曲线。这个结果看起来相当合理。用类似的方法，我们测量出穿过孔2而到达的电子的概率分布P_2。这个测量结果也画在图6-3（b）中。

两个孔都打开的情形下得到的结果P_{12}显然不是只打开一个孔时的概率分布P_1与P_2之和。同我们的水波实验类比，我们得说：“这里有干涉发生。”

$$\text{对于电子：} P_{12} \neq P_1 + P_2 \text{。} \qquad (6.5)$$

怎么能发生这样的干涉呢？也许我们会说：“嗯，这可能意味着，电子颗粒要么穿过孔1要么穿过孔2的命题不成立，因为如果它成立，概率就应当相加。也许它们的运动方式更为复杂。它们裂开成两半并

且……”但是不！它们不能分裂，它们永远以完整的颗粒的形式到达……“嗯，也许它们之中的某些穿过孔1，然后再穿过孔2兜回来，然后再兜几圈，或者沿某条其他的复杂路径……这样，关闭孔2，我们就改变了一个出发时穿过孔1的电子最后落到后障上的机会……”但是请注意！后障上存在着这样一些点，当两个孔都打开时只有很少的电子到达这些点，而如果关闭一个孔却有许多电子，因此关闭一个孔增大了来自另一孔的电子数目。不过，又请注意，在概率分布图样的中心处，P_{12}沿复杂的路径行进的假设来解的大小要比P_1+P_2的两倍还大。这又好像是关闭一个孔就减小了来自另一孔的电子数目。要用电子释这两种效应看来是困难的。

这一切都很神秘。你对它考虑得越多，它就显得越神秘。曾经炮制出许多理论，试图用单个电子沿复杂的路径穿过两个孔兜圈子来解释P_{12}曲线。它们之中没有一个成功。没有一个能够用P_1和P_2得出正确的P_{12}曲线。

可是，使人非常惊奇的是，把P_1和P_2同P_{12}联系起来的数学极为简单。因为P_{12}曲线正好像图6-2中的I_{12}曲线，而它是简单的。在后障上发生的事情可以用两个叫Ψ_1和Ψ_2的复数描述（当然，它们是x的函数）。Ψ_1的绝对值的平方给出只有孔1打开时的效应，即$P_1=|\Psi_1|^2$。只有孔2打开时的效应由Ψ_2以同样的方式给出，即$P_2=|\Psi_2|^2$。而两个孔的联合效应正好是$P_{12}=|\Psi_1+\Psi_2|^2$。它用的数学同我们在水波情况下用的数学相同！（难以看出，从电子沿着某条奇异的轨道来回穿越金属板的复杂运动怎么能得出如此简单的结果。）

我们的结论如下：电子以颗粒的形式到达，像粒子一样；而这些颗粒到达的概率分布则像是一个波的强度分布。正是在这个意义上，我们说“一个电子的行为有时像一个粒子，有时像一个波。”

顺便说一下，在我们讨论经典的波时，我们定义波的强度为波的振幅的平方的时间平均值，并且我们用复数作为一种简化分析用的数学技巧。但是在量子力学中我们发现，振幅必须用复数表示，单用实部不行。暂时这只是一个技术问题，因为公式看起来完全一样。

既然穿过双孔的到达概率这样简单（虽然它不等于P^1+P^2），这实际上就是全部我们要说的了。但是，自然界的确按照这样的方式行事，这一事实包含了大量微妙之处。这里我们想向你介绍其中的一些。首先，由于到达具体一点的电子数目并不像从命题A得出的结论那样，等于穿过孔1到达的数目与穿过孔2到达的数目之和，无疑我们会得到结论：命题A不成立。电子要么穿过孔1要么穿过孔2并不正确。但是这个结论可以用另一个实验来检验。

6-6　观察电子

现在我们来考虑下面的实验。在我们的电子实验仪器上加一个很强的光源，放在墙后两个孔之间，如图6-4所示。我们知道电荷会散射光。因此当有一个电子在飞向探测器的途中经过时，不论它是怎样经过的，它都会把一些光散射到我们的眼睛中来，从而我们可以看见电子在哪里飞过。例如，如果一个电子的路径像图6-4中画的那样是经过孔2的，那么我们就将看到来自图中标有A的地方附近的闪光。如果有一个电子穿过孔1，那么我们就会期望在上面的孔旁看到闪光。要是发生这样的事：我们同时在两个地方看到闪光，因为电子分成了两半……还是让我们做实验吧！

我们看到的情况是这样：每当我们听到（后障上）电子探测器的一次喀哒声，我们要么在孔1旁要么在孔2旁看到一个闪光，但是绝对不会同时在两处看到！不论我们把探测器放在什么地方，我们都观察到同样的结果。从这个观察结果我们得出的结论是，当我们观看电子时，我们发现电子总是要么穿过这个孔要么穿过那个孔。从实验看，命题A必定成立。

那么，我们否定命题A的论据有什么问题呢？为什么P^{12}不是正好等于P^1+P^2？还是回到实验上来！让我们追踪电子并观察它们在干什么。在探测器的每一个位置（x的一个值）我们对来到的电子计数，并依靠观察闪光记录下电子穿过哪个孔。我们可以这样记录：每当我们听到一次喀哒声，如果在孔1旁看到一个闪光，就在第一栏里记录一个计数；如果在孔2旁看到一个闪光，就在第二栏里记录一个计数。每个到达的电子都记录到这两类中：一类是穿过孔1的电子，另一类是穿过孔2的电子。从第一栏的数据我们得出一个电子经由孔1到达探测器的概率$P^{1'}$；从第二栏的数据我们得出一个电子经由孔2到达探测器的概率$P^{2'}$。如果

我们对许多x值重复这一测量，就得到图6-4（b）中所示的$P^{1'}$和$P^{1'}$的曲线。

嗯，这些并不使人惊奇！我们得到的$P^{1'}$曲线和前面将孔2挡住所得出的P^{1}曲线非常相似；$P^{2'}$曲线和前面将孔1挡住所得出的P^{2}曲线非常相似。因此这里没有任何像穿过两个孔那样的复杂情况出现。当我们观看电子时，电子就像我们预期的那样穿过小孔。不论孔2是开还是关，我们观看到的穿过孔1的电子分布的方式相同。

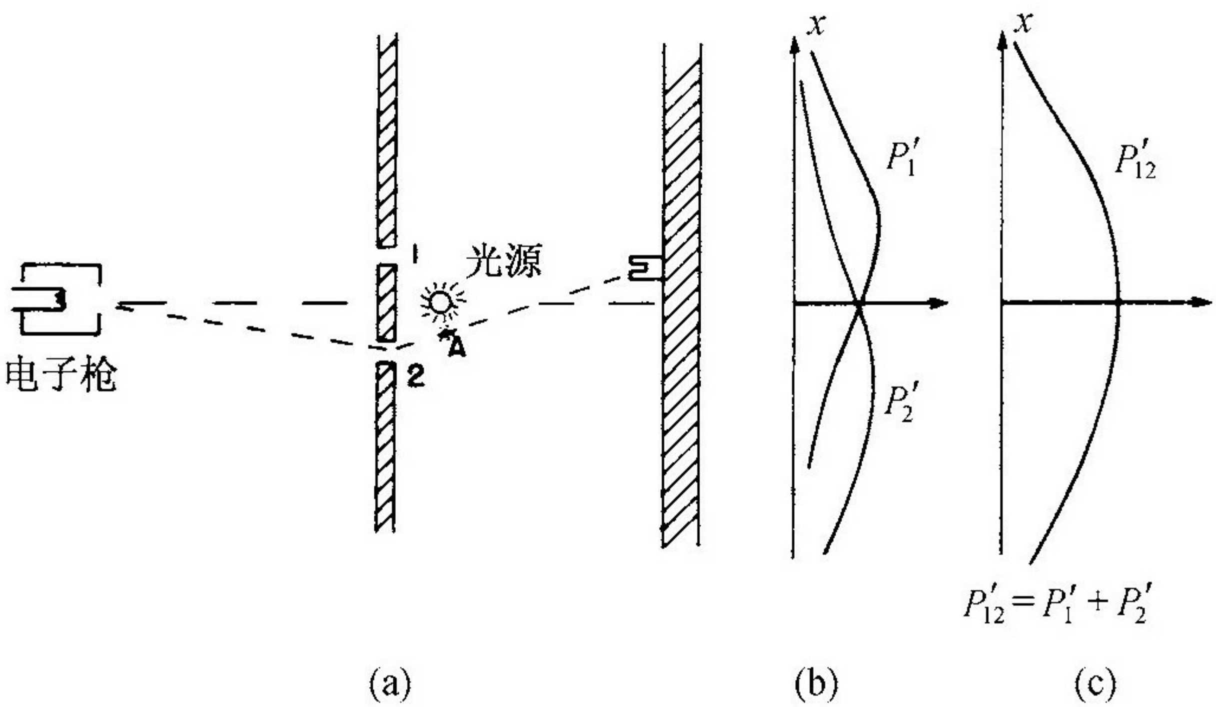


图6-4　另一个用电子做的实验

但是先别忙！现在的总概率，即一个电子沿任意路径到达探测器的概率是什么呢？我们已经有了有关的数据。这只要假装我们根本没有看过闪光，而将原来分列两栏的探测器喀哒声归并到一起就行了。我们只须把原来的两栏数据相加。对一个电子穿过随便哪个孔到达后障的概率，我们得到的是$P^{12'}$=$P^{1'}$+$P^{1'}$。这就是说，虽然我们成功地观看到我们的电子是穿过哪个孔而来的，我们得到的却不再是原来的干涉曲线

P^{12}，而是一条新的曲线$P^{12'}$，它不呈现任何干涉现象！只要我们把光源熄灭P^{12}就恢复。

我们必须得出结论，只要我们观看电子，它们在屏上的分布就同我们不看时的分布不同。也许是打开光源带来了干扰吧？想必是由于电子非常微小，而光在被电子散射开来的时候，给了电子一个反冲力，改变了电子的运动。我们知道，光的电场作用在一个电荷上时会对电荷施加一个作用力，因此也许我们应当预期运动会发生变化。无论如何，光对电子产生了巨大的影响。在试图“观看”电子时，我们就改变了它们的运动。这就是说，电子散射光子时所受到的反冲使电子的运动发生了足够大的变化，使得它本来也许是要到P^{12}为极大值的点上去的，现在却跑到P^{12}为极小值的点上去；这就是我们不再看到波状干涉效应的原因。

你可能会想：“别用这么亮的光源！把亮度降低！那么光波会变弱，对电子的干扰也不会这么厉害了。无疑，如果使光源越来越暗，最后光波会弱到这种程度，使得它的效应可以忽略。”好，让我们试试看。我们观察到的第一件事是，电子经过时散射造成的闪光并不减弱。它总是同样强度的闪光。光源变暗时发生的惟一事情是，有时我们听到探测器的一次喀哒声但是却根本看不到闪光。电子跑过去了而我们并没有看见它。我们观察到的是，光的行为也像电子；我们以前知道光是一个波，但是现在我们发现它也是颗粒状的。它永远以颗粒的形式（我们称之为“光子”）来到或被散射。当我们减弱光源的强度时，光子的大小并不改变，改变的只是光源单位时间发射光子数的多少。这就解释了，为什么在光源变暗时，有些电子经过而不被我们看见。在那些电子经过时，正好它们的周围没有光子。

这多少使人感到沮丧。如果真的只要我们看见电子我们看见的就是同样大小的闪光，那么我们看见的电子永远是受到干扰的电子。无论如何，让我们用一个暗光源做一下实验。现在，每当我们听到探测器的一

次喀哒声我们就分三栏来记录：在第一栏里记录在孔1旁看见的电子，在第二栏里记录在孔2旁看见的电子，在第三栏里记录那些看不见的电子。当我们整理出数据（计算概率）后我们发现以下的结果：那些“在孔1旁看见”的电子的分布像$P^{1'}$；那些“在孔2旁看见”的电子的分布像$P^{2'}$（因此“在孔1或孔2旁看见”的电子的分布像$P^{12'}$）；而那些“根本看不见”的电子的分布是波状的，正像图6-3中的P^{12}！如果电子没有被看见，就有干涉现象发生！

这是可以理解的。当我们没有看见电子时，没有光子干扰它，而当我们看见它时，一个光子已经干扰了它。对电子的干扰的大小永远相同，因为光子都产生同样大小的效应；而且光子被散射引起的效应足以抹掉任何干涉现象。

难道就没有什么办法可以让我们既看到电子而又不干扰它吗？我们在前面有一章里学过，一个“光子”携带的动量反比于光的波长（$p=h/\lambda$）。电子将光子散射到我们的眼睛中时所得到的反冲一定是依赖于光子所携带的动量的。有了！如果我们想要尽量少打扰电子，那么我们该做的不是降低光的强度，而是降低它的频率（这和增大它的波长相同）。让我们用颜色更红的光。我们甚至可以用红外光，或者无线电波（像雷达），并借助于一些能够“看见”这些波长更长的光的设备来“看”这些电子的去向。如果我们用较柔和的光，也许能够避免对电子干扰太厉害。

让我们用波长较长的波来做实验。我们将用波长越来越长的光，一次次重复我们的实验。起初，看不出有什么变化，结果是一样的。接着，可怕的事发生了。你还记得，在我们讨论显微镜时曾指出，由于光的波动本性，对两点靠近到什么程度仍然可以被分辨为两个分离的点存在着一个限制。这个极限距离与光的波长同一量级。于是，如果我们使光的波长比二孔之间的距离更长，当光被电子散射时我们就会看到一个

巨大的模糊闪光。我们不再能分辨出电子是穿过哪一个孔了！我们只知道它在某个地方经过！正是对这种颜色的光，我们发现给予电子的反冲已经足够小，使得$P^{12\prime}$看起来开始像P^{12}了——我们开始得到一些干涉效应。只有用波长比两孔的间隔大得多的光（这时根本不可能分辨出电子经过哪里），由光引起的干扰才足够小，使我们能再度得到图6-3中的P^{12}曲线。

在实验中我们发现，不可能这样安排光源，使人们既可以分辨出电子是穿过哪个孔，而同时又不对概率分布图样产生任何干扰。海森伯提出，只有存在着某种前所未知的对我们的实验能力的基本限制，当时新发现的那些自然定律才能够相容一致。他提出了不确定原理作为一条普遍原理，这条原理用我们的实验可以表述如下："不可能设计出一种仪器以确定电子穿过哪个孔，而同时又不使电子受到足以破坏其干涉图样的干扰。"如果一种仪器能够确定电子穿过哪个孔，它就不可能精致到使分布图样不受到实质的干扰。没有任何人找到过（或甚至想到过）一种绕过不确定原理的方法。因此我们必须假定它描述了自然界的一个基本特征。

我们今天用来描述原子、并且事实上描述一切物质的量子力学的全部理论取决于不确定原理的正确性。由于量子力学是这么成功的一个理论，这加强了我们对不确定原理的信任。但是，如果一旦发现了一种能够"打败"不确定原理的方法，量子力学就会给出矛盾的结果，因而不再是自然界的一个有效的理论，不得不抛弃它。

"那么"，你说，"命题A到底怎样呢？电子要么穿过孔1要么穿过孔2，这到底是对还是不对？"惟一可能的回答是，我们从实验发现，为了不陷入矛盾，我们必须按一种特殊的方式来思考。为了避免做出错误的预言，我必须说的是：如果你观看小孔，或更精确的说，如果你有一台能够确定电子是穿过哪个孔的仪器，那么你就可以说电子是要么穿过孔

1要么穿过孔2。但是，当你并不试图分辨电子是走哪条路时，当实验中没有任何东西打扰电子时，那么你就不可以说一个电子要么是穿过孔1，要么是穿过孔2。如果你这么说了，并且开始由此做出种种推论，你就会在分析中犯错误。这是一条逻辑钢丝，如果我们想要成功地描写自然，就必须走这条钢丝。

***

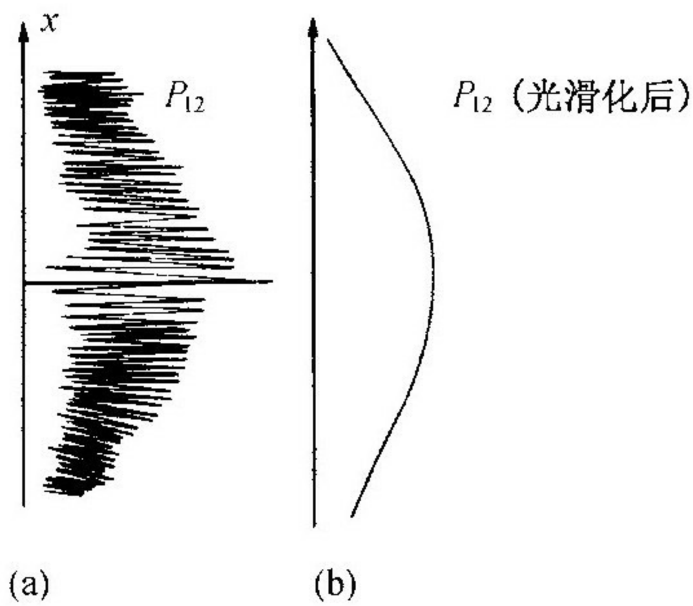


图6-5　子弹的干涉实验：（a）实际的图样，（b）观测到的图样

如果一切物质——也包括电子——的运动都必须用波来描述，那么我们的第一个实验中的子弹又是怎么回事呢？为什么我们在那里看不到干涉图样？原来是因为，子弹的波长是如此之小，使得它的干涉图样变得非常之精细。它是精细得用任何有限尺寸的探测器都不能区分它隔开的极大值和极小值。我们看到的只是一种平均，那就是经典情况下的曲线。在图6-5中我们试图示意地表示大尺度物体发生的情况。图6-5（a）是用量子力学所预言的子弹的概率分布。其中的快速起伏的条纹代表对波长极短的波所得出的干涉图样。但是，任何物理的探测器都要跨越概

率曲线的几次起伏，所以测量给出的是图6-5（b）中画的光滑曲线。

6-7　量子力学的基本原理

我们现在要总结一下我们的实验的主要结论。但是，我们将把结果表述成对更普遍的实验也适用的形式。如果我们先定义一个“理想实验”，我们的总结就可以写得更简单。所谓理想实验，就是其中没有任何不确定的外来影响（没有我们考虑不到的振动或别的事情发生）的实验。说得更精确些，一个理想实验就是这个实验的全部初始状态和终了状态都完全确定。我们下面所称的“一个事件”，一般地说，指的就是一组具体的初始状态和终了状态。（例如：“一个电子离开电子枪，到达探测器，此外不发生任何其他事情。”）下面就是我们的总结。

总结

（1）一个理想实验中的一个事件的概率由一个叫做概率振幅的复数Ψ的绝对值平方给出。

$$P=\text{概率},$$
$$\Psi=\text{概率振幅},\qquad(6.6)$$
$$P=|\Psi|^2。$$

（2）当一个事件可以以不同的方式发生时，这个事件的概率振幅是分别考虑的每种方式的概率振幅之和。这时有干涉现象。

$$\Psi=\Psi_1+\Psi_2,$$
$$P=|\Psi_1+\Psi_2|^2。\qquad(6.7)$$

（3）如果做一个能够确定实际发生的是哪一种方式的实验，那么这个事件的概率是每种方式的概率之和。这时干涉现象消失。

$$P_{12}=P_1+P_2。\tag{6.8}$$

你可能还要问："这是怎么造成的？这条规律背后有什么机制？"还没有人找到过这一规律背后的任何机制。没有人能够比我们刚才"解释"的"解释"得更多。没有人会给予你关于这种情况的任何更深刻的表述。我们根本想象不出一个更基本的、可以推出这些结果的机制。

我们想要强调经典力学和量子力学之间的一个非常重要的差别。我们一直在谈论一个电子在给定的情况下抵达的概率。我们曾暗示，在我们的实验安排下（或哪怕是在尽可能好的实验安排下）不可能精确预言会发生的事情。我们只能预言事情发生的机会！如果这是真的，这将意味着，物理学已经放弃了精确预言在确定的情况下会发生什么事情。是的，物理学已经放弃了这个！我们不知道如何预言在给定情况下会发生什么事情，并且现在我们相信这是不可能的，惟一可以预言的东西是不同事件的概率。必须承认，这是对我们早先的理解自然的理想的一种删约，也许是一步后退，但是还没有人看到绕开它的出路。

我们现在来评述一个建议，这个建议曾被提出以避免我们前面给出的描述。"也许电子具有某种我们迄今还不知道的内部机构——某些内部变量。也许这就是我们无法预言将会发生什么事情的原因。如果我们能够更仔细地观察电子，我们就有可能预言它的归宿。"就我们所知这是不可能的，我们将仍然处于困难中。假定在电子内部有某种机制决定它最后去到哪里，这个机制必定也决定它在途中是穿过哪一个孔。但是我们必须记住，电子内部的东西是应该不依赖于我们做什么事的，特别是不依赖于我们是打开还是关上某个孔。因此，如果一个电子在出发前已决定好（a）穿过哪个孔，以及（b）最后去到哪里，我们对那些选择

孔1的电子求得的概率就应当是P^1，对那些选择孔2的电子求得的概率就应当是P^2，而穿过两个孔抵达的电子概率就必定是二者之和P^1+P^2，看来除此以外别无他法。而实验已经证实情况并非如此。还没有人想出一个办法来解决这个难题。因此在目前，我们只能限于计算概率。我们说“在目前”，但是我们强烈地感觉到，这很可能是某种将要永远伴随我们的东西，我们将不可能解决这个难题，自然界实际上就是这样。

6-8　不确定原理

海森伯原来是这样表述不确定原理的：如果你对任何物体进行测量，并且能够把它的动量的x分量确定到一个不确定量Δp的精度，那么你同时对它的x位置就不能知道得比不确定量$\Delta x=h/\Delta p$更精确。任何时刻的位置不确定量和动量不确定量的乘积都必须大于普朗克常量。这是我们前面以更普遍的方式叙述的不确定原理的一个特殊情形。更普遍的说法是，不能用任何方法设计出一种仪器设备，它能确定在两种情况中选用哪一种，而同时并不破坏干涉图样。

我们用一个特例来表明，为了不陷入麻烦，海森伯给出的这种关系必须成立。我们想象图6-3的实验的一种修正，其中带小孔的墙是安装在滚筒上的一块板，它能在x方向上自由运动，如图6-6所示。仔细观察板的运动，我们可以判断电子是穿越哪个孔。想象探测器位于x=0处时所发生的情况。我们会预期，一个穿过孔1的电子必须被墙板向下偏转才能到达探测器。由于电子动量的垂直分量变了，墙板一定会反冲，反冲动量的大小相同，方向相反。墙板得到一个向上的反冲。如果电子穿过下面的孔，墙板会感到一个向下的反冲。很清楚，对于探测器的每一个位置，电子穿过孔1时与电子穿过孔2时墙板所接受的动量之值是不同的。因此，根本用不着打扰电子，只要观察墙板，我们就能判断电子走的是哪条路径。

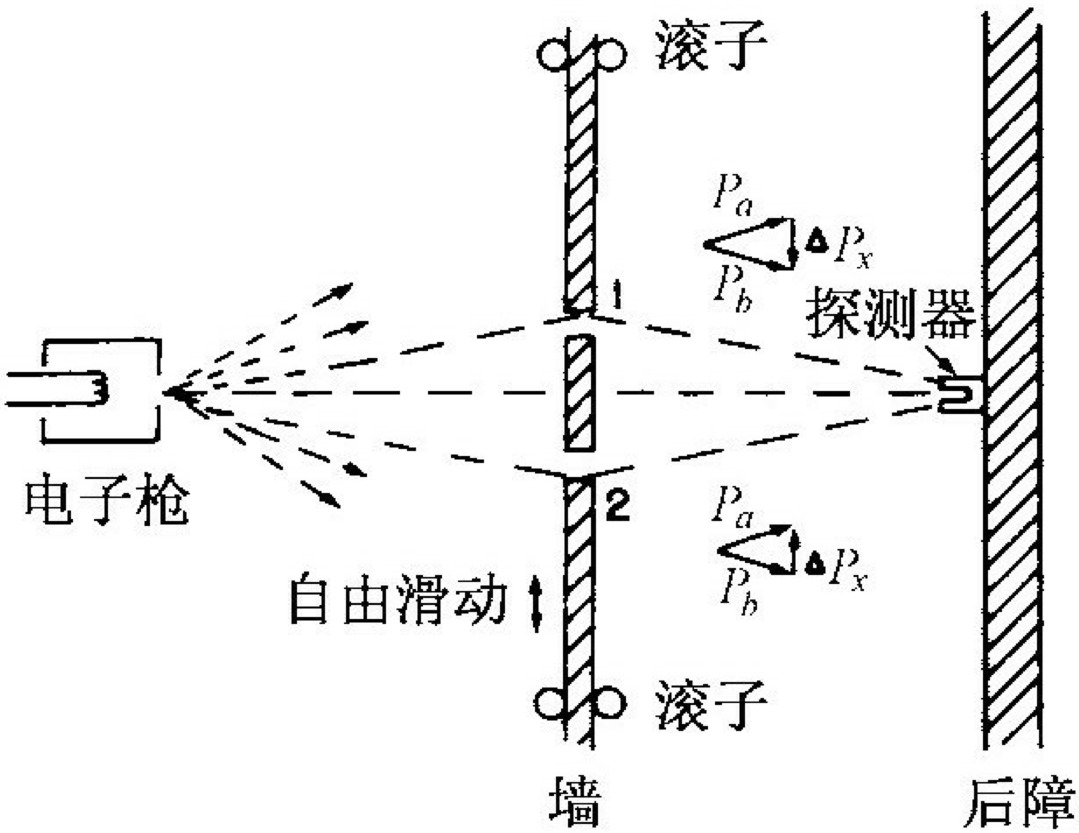


图6-6　测出墙的反冲的实验

而为了做到这一点，就必须知道在电子穿过孔之前墙板的动量。这样，当我们测量出电子穿越后墙板的动量，我们就能算出墙板的动量改变了多少。但是请记住，根据不确定原理，我们不能同时以任意高的精确度知道墙板的位置。可是如果我们不知道墙板的精确位置，我们就不能说出两个孔的精确位置。对于每个穿过小孔的电子，小孔将在不同的地方。这意味着对于每个电子，我们的干涉图样的中心将在不同的位置上。于是干涉图样中的条纹将会被抹掉。我们将在下一章定量地表明，如果我们足够精确地确定墙板的动量，由反冲动量的测量来确定电子穿过的是哪一个孔，那么根据不确定原理，墙板的x位置的不确定量将足以使在探测器处观察到的图样在x方向上下移动一个相当于从极大值到附近的极小值的距离。这样一个随机漂移刚好将干涉图样抹掉，因此观察不到干涉现象。

不确定原理“保护”着量子力学。海森伯认识到，如果有可能以更高的精确度同时测量动量和位置的话，量子力学就会垮台。所以他提出这一定是不可能的。于是人们坐下来，试图找出能够这么做的办法，可是没有人能够找到一个办法，能以哪怕更高一点的精确度测量任何东西——一块墙板，一个电子，一个弹子球，任何东西——的位置和动量。量子力学以其充满风险但却精确的方式存在着。

理查德·费曼生平

理查德·费曼于1918年出生于布鲁克林[19]，1942年在普林斯顿获得博士学位。在第二次世界大战期间，尽管他年纪轻轻，就在洛斯阿拉莫斯的曼哈顿计划中起了重要的作用。战后，他在康奈尔大学和加州理工学院任教。由于他在量子电动力学方面的工作，于1965年与朝永振一郎和朱利安·施温格一起获得诺贝尔物理学奖。

费曼博士由于成功地解决了量子电动力学理论方面的问题而获得诺贝尔奖。他还创立了一个解释液氦中的超流现象的数学理论。此后，又与默里·盖尔曼一起在诸如β衰变等弱相互作用领域从事开创性的工作。在随后的岁月里，费曼提出了高能质子碰撞过程的部分子模型，在夸克理论的发展中起了关键的作用。

除了这些成就之外，费曼博士还在物理学中引入了基础性的新的计算方法和符号，特别是无处不在的费曼图，它也许比近代科学史上任何其他的形式体系更多地改变了人们对基本物理过程概念化和计算的方式。

费曼是一位卓有成效的教育家。在他所获得的众多的奖品中，他特别欣赏1972年获得的奥斯特教学勋章。1963年初版的费曼《物理学讲义》被《科学美国人》杂志的评论家誉为“难啃的但却营养丰富的美味佳肴。25年之后，它成为教师和大学新生中佼佼者的指南”。为了使广大非专业人士更多地了解物理学，费曼博士还写了《物理定律的本性》与《QED：光和物质的奇妙理论》。他还写过许多高深的论著，这些都成了研究者和学生的经典参考文献和教科书。

理查德·费曼是一位积极的公众人物。他在挑战者号事故调查委员会中的工作是街知巷闻的，尤其是他证明O形环对寒冷的敏感性的出色演示，这个精彩的演示需要的只不过一杯冰水而已。比较鲜为人知的是费曼博士在20世纪60年代为加州的课程委员会劳心费神所做的事情，当时，他对教科书的平庸无奇提出了质疑。

列举理查德·费曼在科学和教育方面的无数成就并不能充分反映这个人物的本性。甚至他最专业的论著的读者也知道，费曼的活泼和多面的个性表现在他全部的工作中。他不仅是一位物理学家，在不同的时期，他还是收音机修理工、开锁匠、艺术家、舞蹈家、手鼓表演者，甚至还是玛雅象形文字的翻译家。他是一个模范的经验主义者，永远对身边的世界感到好奇。

理查德·费曼于1988年2月15日在洛杉矶去世。

[1]即唐努乌梁海，蒙古的西北角，现属于俄罗斯。——译者注

[2]吉本（Edward Gibbon），1737～1794，18世纪英国著名历史学家，《罗马帝国衰亡史》作者。

[3]金刚石是可以在空气中燃烧的。——原注

[4]如果用结构式来表示，现在一般表示为O=C=O。——译者注

[5]指国际象棋。——译者注

[6]按照国际象棋的规则，卒子攻至底线后可成为任何棋，当然一般选择升级为后，因为后的威力最强，但也可升级为象。如果它攻至底线是发生在黑格，就成为黑格上的象——译者注

[7]阿廖欣，1927～1935，1937～1946年国际象棋世界冠军。——译者注

[8]厄瓜多尔首都，在赤道上。——译者注

[9]费曼说的是当时即20世纪60年代初的情况。这样的理论现在已经有了，那就是盖尔曼提出的夸克模型、温伯格和萨拉姆提出的电弱统一理论和它们构成的粒子物理统一模型。——译者注。

[10]克雷布斯（Krebs, H.A.），英籍德裔生物化学家。1937年发现三羧酸循环，对细胞代谢和分子生物学研究做出重要贡献，因此获1953年诺贝尔生理学和医学奖。——译者注

[11]我这个解说是多么急匆匆啊！在这个简短的解说中，每句话包含有非常丰富的内容。“所有的星星都是由同地球上一样的原子组成的”。我通常要就这样一个小题目讲整整一堂课。诗人们常常抱怨科学剥夺了星星的美丽——只剩下由气体原子构成的球体。根本不是这么回事。我也能在旷野的夜空中看到星星，并且有所感受。但是我比他们是看到更多呢，还是更少呢？无垠的天空拓宽了我的想象，盯着看这个回转的天穹，我小小的眼睛可以捕获100万年前发出的星光。一幅浩瀚的图样，我就是这幅图样的一部分，也许组成我身体的材料就是由某颗已被遗忘的星星喷发出来的，就像那边那颗星正在喷发一样。或者如果用帕洛玛天文台更大的眼睛（200厘米望远镜）来看它们，就可以看到它们从某个公共的起始点往四面八方急速散开，它们在以前某个时候也许都挤在那个起始点。这是多么浩瀚的一幅图样！它的意义何

在？它的成因是什么？对这些问题有一点了解并无损于宇宙的神秘。因为真理比过去任何艺术家所想象的都更为奇妙！为什么现在的诗人不去颂赞它呢？如果朱庇特（Jupiter，罗马神话中的主神，又是木星的外文名）像一个人，就能够颂赞他，而如果它是一团巨大的由甲烷和氨气组成的自转的球体，就必须三缄其口，这算什么诗人？——原注

[12]氦的外文名称helium的原意是太阳素。——译者注

[13]我们在这里重视的并不是最后得到的结果（4.3）式，事实上，这个结果你们可能已经知道了，而是通过理论推理得出这个式子的可能性。——原注

[14]反重子的重子数为-1。——原注

[15]径矢是从太阳到行星轨道上任意一点的直线。——原注

[16]这就是月球轨道圆上的点比1秒钟之前月球所在的点的切线往下掉了多少。——原注

[17]本课程中将不给出这个证明。——原注

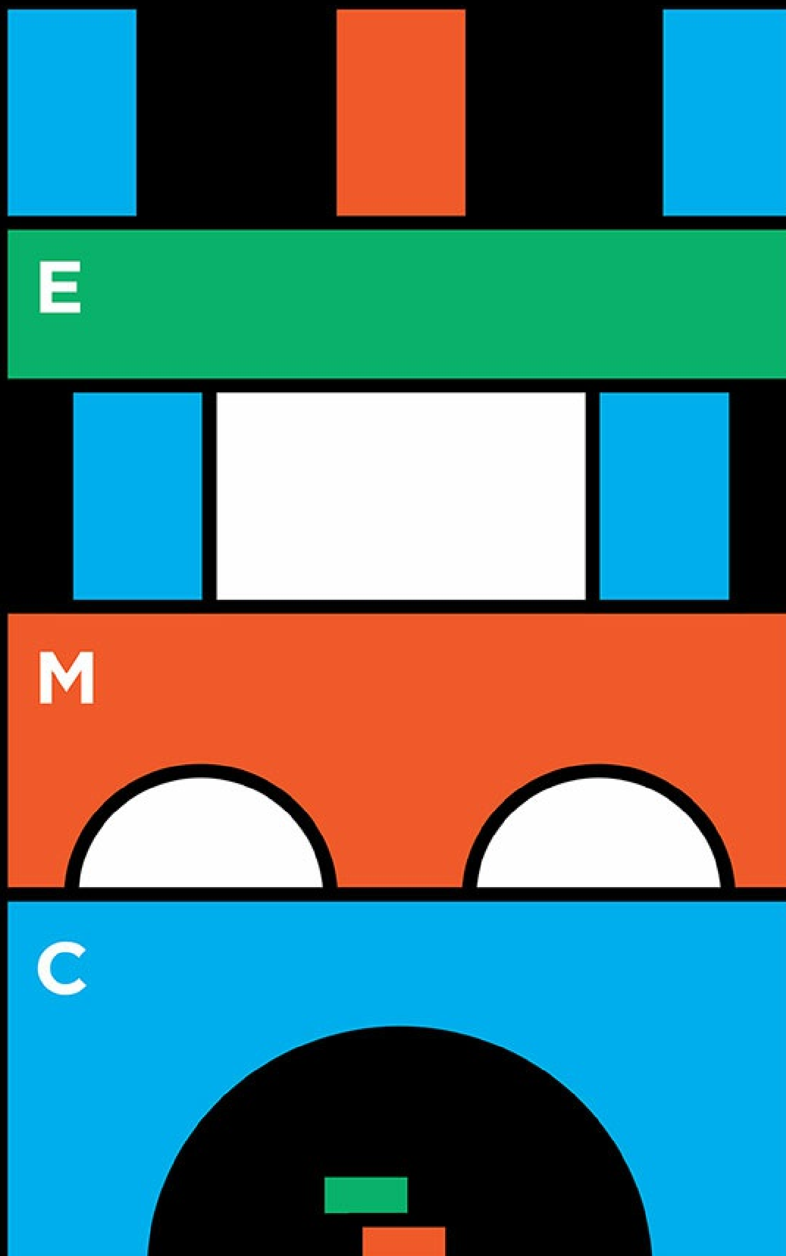
[18]原文是1656年，经核实应为1676年。——译者注

[19]美国纽约市西南部的一个区。——译者注

Six Not-So-Easy Pieces

费曼讲物理：相对论

Richard P. Feynman
[美] 理查德·费曼●著
周国荣●译



湖南科学技术出版社

版权信息

费曼讲物理：相对论

著者：[美]理查德·费曼

翻译：周国荣

责任编辑：吴炜　陈刚　李蓓

书籍设计：汪赵冲　邵年

ISBN：9787571000196

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息

出版者的话

前言

特别序言

费曼的序言

第一章 矢量

1-1 物理学中的对称性

1-2 平移

1-3 旋转

1-4 矢量

1-5 矢量代数

1-6 用矢量法表示牛顿定律

1-7 矢量的标量积

第二章 物理定律的对称性

2-1 对称操作

2-2 时空对称

2-3 对称性与守恒定律

2-4 镜像反射

2-5 极矢量和轴矢量

2-6 到底哪一只是右手

2-7 宇称不守恒了

2-8 反物质

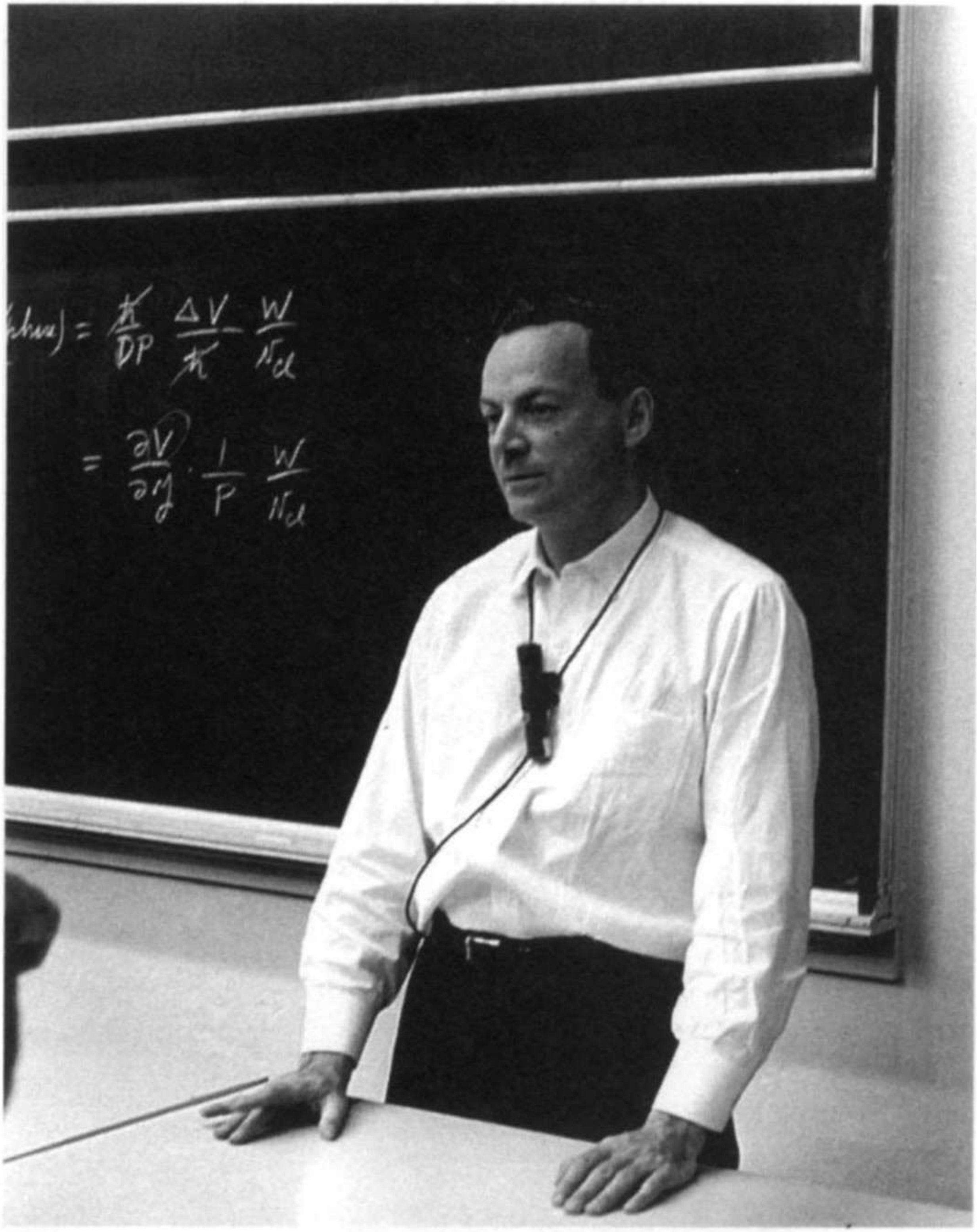
2-9 不完整的对称性

第三章 狭义相对论

3-1 相对性原理

3-2 洛伦兹变换
3-3 迈克尔孙-莫雷实验
3-4 时间的变换
3-5 洛伦兹收缩
3-6 同时性
3-7 四维矢量
3-8 相对论动力学
3-9 质量和能量的等效性
第四章 相对论性的能量和动量
4-1 相对论和哲学家
4-2 双生子悖论
4-3 速度的变换
4-4 相对论性质量
4-5 相对论性能量
第五章 空间和时间
5-1 时空几何学
5-2 时空间隔
5-3 过去、现在和未来
5-4 四维矢量的进一步讨论
5-5 四维矢量代数
第六章 弯曲空间
6-1 二维弯曲空间
6-2 三维空间的曲率
6-3 我们的空间是弯曲的
6-4 时空中的几何学
6-5 引力和等效原理
6-6 引力场中时钟的快慢
6-7 时空的曲率

6-8 在弯曲的时空中运动
6-9 爱因斯坦的引力理论
理查德·费曼生平



出版者的话

《费曼讲物理：入门》（由Addison-Wesley出版公司于1995年出版）这本小册子无与伦比的成功与畅销，激发起公众、学生甚至科研人员想要得到更多费曼的书面讲义和录音材料的强烈要求。因此，我们重新翻阅了原《物理学讲义》和加州理工学院的讲课记录，看一看是否还有更加“容易读的”篇章。结果没有找到。不过，倒是有许多不那么容易读的讲稿，这些讲稿尽管用到一些数学方法，但是，对于刚刚入门的理科学生来说，它们并不算太难；对于学生和非物理专业的人士来说，这六章讲稿与先前那六章同样令人兴奋、引人入胜和使人愉悦。

这些不那么容易读的篇章与先前那六篇之间的另一个差别是，先前那六个专题跨越了物理学中从力学到热力学以至到原子物理学的若干个领域。然而，大家手头上这六个新的问题却都围绕着一个主题，这个主题已经引发了从黑洞到虫洞，从原子能到时间反常等多项在现代物理学中最具革命性的发现和令人叹为观止的理论；我们所说的当然就是相对论了。不过，即使是相对论的创立者爱因斯坦大师本人，对这个理论所创造出来的奇迹、这个理论的作用以及它的基本概念，也无法做出像来自纽约的理查德·费曼这样的解释，这一点大家在阅读这些章节或者聆听CD录音时就会得到证明。

Addison-Wesley Longman出版公司衷心感谢罗杰·彭罗斯为这一辑演讲汇编所写的精辟的前言；感谢布赖恩·哈特菲尔德和大卫·皮内斯在挑选这六章讲义时提出的非常宝贵的建议；还要感谢加州理工学院物理系及档案研究所，特别要感谢朱迪思·古德斯坦在规划出版这本小册子及其CD录音中给予的协助。

前言

罗杰·彭罗斯

1996年12月

要了解理查德·费曼成为一代宗师的原因，就得对这位科学家的卓越成就做出正确的评价。理查德·费曼无疑是20世纪理论物理学界的杰出人物之一。他对这个领域的主要贡献是全面发展了将量子理论应用到当代前沿研究领域所使用的独特的方法，并且由此对这个领域的当代图景产生重大的影响。费曼路径积分、费曼图和费曼规则都属于现代理论物理学家所用的非常基本的工具之列，这些工具是将量子理论的规则应用到各个具体领域（如电子、质子和光子的量子理论）时所必需的，它们构成了使量子规则与爱因斯坦的狭义相对论的要求相一致的处理方法的基本要素。尽管这些概念没有一个是轻易就搞得懂的，但是，费曼独特的处理方法总是使它们极其清晰明了，完全消除了以往的做法中不必要的复杂化。费曼在科学研究中独特的创新能力与他作为一名教师的特殊才能有密切的联系。他有一种独一无二的天赋，使他能够避开那些常常令物理结果的本质难以理解的复杂性，透彻地理解深奥难懂的基本物理原理。

然而，在公众的观念中，费曼更为人们所熟知的是他的滑稽与诙谐、他的恶作剧、他对权势的藐视、他的手鼓表演、他与女性无论是深挚还是肤浅的交往、他在脱衣舞夜总会的出没、晚年想要踏足地处中亚的偏僻国度图瓦的冒险尝试，以及许许多多其他的言行举止。毋庸置

疑，理查德·费曼必定绝顶聪明，他快如闪电的演算速度，他开保险箱的技巧、与保安部门的巧妙周旋以及解读古玛雅经文的业绩——更不用说他最终获得的诺贝尔奖——都无疑证明了这一点。然而，作为20世纪造诣最深和最具独创性的思想家之一，这些业绩没有任何一项完全体现他在物理学家和其他科学家中所具有的不容争辩的地位。

著名的物理学家和作家、费曼提出其最重要的思想时的一位早期合作者弗里曼·戴森，于1948年春当他还是康奈尔大学的研究生时，在给他英国的父母的一封信中写道，“费曼是年轻的美国教授，天才与小丑对半，他那旺盛的活力使所有物理学家以及他们的孩子们笑口常开。然而，我最近发现，他所具有的品格远不止这些……”多年以后，他在1988年又这样写道：“一个真实的写照倒是该这样说，费曼既是天才又是小丑。深邃的思想和充满欢乐的逗趣并不是多重人格中相互孤立的要素……他思索与逗趣并举。”[1]的确是这样的，在他的演讲中，他的才智是自然流露的，而且常常是非比寻常的。在整个演讲中，他驾驭着听众的注意力，但决不会偏离演讲的目的，那就是对自然法则原汁原味的、深刻理解的表述。通过笑声，他的听众得以放松而无拘无束，不会因为那些有点吓唬人的数学表达式和高深莫测的物理概念而感到沮丧。还有，虽然他乐于身处公众场所，而且无疑是一位杂耍演员，但这并不是他表演的目的。他的目的是向公众传播关于基本物理概念，以及为了恰如其分地表述这些概念所必需的基本数学工具的某些基本认识。

尽管笑声在他成功地驾驭听众的注意力方面至关重要，但是，对于物理基本认识的传播，更重要的是他的方法的直接性。的确如此，他有一种特别直接的、讲求实际的风格。他藐视那种几乎没有物理内容的不切实际的哲学思辨。甚至连他对数学的态度也有点相似。他几乎从不为了卖弄数学上的严谨性而使用数学，但是，对于他所需要的数学，他具有一种独特的技巧，并且能够以一种极其明晰的方式将其表述出来。他从不受人恩惠，也从来不轻易接受那些别人认为是正确的而未经自己独

立判断的观点。因此，他的方法无论在他的研究工作中还是在他的教学过程中都是特别新颖的。于是，当费曼的方法与从前的方法明显不同时，遵循费曼的方法会更富有成效，这个想法将是一个相当有把握的赌注。

费曼最喜欢用来传达信息的方法是口头交谈。他不轻易也不常委身于印好的文字。在他的科学论文中当然会出现“费曼特性”了，不过读起来就有点像降了调的样子。费曼的才智正是在他的演讲中表露无遗。他那家喻户晓的《物理学讲义》基本上是他的演讲记录的校订稿（由罗伯特·B.莱顿和马修·桑德斯负责），对于每一位拜读这份演讲稿的人，它那引人瞩目的特性是显而易见的。这里呈献给大家的小册子《费曼讲物理：相对论》就是从那些记录中整理出来的。不过，即使在这里，单纯印出来的文字使某些东西明显地丢失了。我相信，要感受费曼的演讲中洋溢的全部活力，就必须亲耳聆听他的声音。这样，费曼方法的直接性、他对权势的傲慢，以及他的幽默就会成为我们能够即时分享的财产。幸运的是，所有这些演讲都被记录在这本书中，它给予我们这种机会——而我则强烈地建议，只要有机会，至少先听几段这些演讲的录音。一旦聆听了费曼用带有纽约这个现代化大都市的声调说出的有说服力、迷人和风趣的解说词，我们就不会忘记他是怎样演讲的，当我们阅读他的讲稿时，这些录音向我们提供一种理解其意义的图像。不过，无论我们是否真的去读这些讲稿，我们都能分享到某些明显令人激动的东西，当费曼对支配我们这个宇宙的各种运作方式的不同寻常的规律进行探索、探索、再探索时，他亲身感受到了这种激情。

这本六次演讲的小册子是经过精心挑选的，它的程度比早些时候由费曼的演讲汇集成的《费曼讲物理：入门》中的六个问题稍微高一点。此外，这些演讲相互配合得恰如其分，构成了现代理论物理学中一个最重要领域的完美而具有说服力的解说。

这个领域就是相对论，它在20世纪初首次闯入人类的意识中。爱因斯坦的名字显著地出现在这个领域的公众观念中。毫无疑问，是爱因斯坦于1905年首次清晰地阐明了相对论的深刻原理，为物理学为之努力的这个新领域奠定了基础。不过，在他之前，许多其他人，特别是H.A.洛伦兹和H.庞加莱，已经意识到（当时的）新物理学的大多数基本观念。此外，在爱因斯坦之前几个世纪，伟大的科学家伽利略和牛顿已经指出，在他们创立的动力学理论中，一个匀速运动的观测者感知到的物理定律应该与一个静止观测者感知到的一模一样。到了后来，当J.C.麦克斯韦于1865年发表了支配电磁场以及光的传播的方程组之后，这种观点的关键问题才显露出来。结论似乎是：伽利略和牛顿的相对性原理不再适用；根据麦克斯韦方程组，光必定以确定的速度传播。因此，根据以下这个事实，即只有静止观测者才会看到光速在各个方向相同，就将一个静止的观测者与运动的观测者区分开。洛伦兹、庞加莱和爱因斯坦的相对性原理与伽利略和牛顿的不同，但它同样具有以下含义：一个匀速运动的观测者感知到的物理定律确实与一个静止观测者感知到的一模一样。

此外，在新的相对论中，麦克斯韦方程组与这个原理相容，而且，无论观测者可能朝哪个方向或者以怎样的速率运动，测量到的光速在各个方向上是一个确定的常数。如何实现这个魔法般的奇迹以调和那些明显令人绝望的相互矛盾的要求呢？我将把这个问题留给费曼，让他用自己独特的方式讲解。

相对论也许是物理学感受到对称性这个数学概念的力量的第一个领域。对称性是一个常见的概念，不过，怎样能够根据一套数学表达式使用这个概念，人们就不太熟悉了。但是，为了使一个方程组满足狭义相对论的原理，人们需要的正是这样一个概念。为了与相对性原理一致，必须存在一个对称变换，将一个观测者的观测量变换成其他观测者的相对应的量。相对性原理认为，对一个匀速运动的观测者来说，就如同对

一个静止的观测者来说一样，物理现象“看起来是相同的”。之所以使用对称性这个概念，是因为物理定律在每一个观测者看来是相同的，而且，“对称性”最终断言，某些事物从两个截然不同的观点上看具有相同的行为。费曼用到具有这种特性的抽象问题上的方法是非常直截了当的，他能够以一种不具备任何特殊数学知识或者抽象思维天赋的人易于接受的方式表达这种概念。

尽管相对论揭示了从前不曾认识到的额外的对称性，但是，物理学中一些更现代的发展已经表明，某些先前被认为是普遍适用的对称性实际上莫名其妙地被破坏了。这个情况在1957年给物理学界带来了一次意义最为深远的冲击，正如李政道、杨振宁和吴健雄的工作展现的那样，在某些基本物理过程中，一个物理系统与其镜面反射所遵循的规律并不相同。事实上，费曼参与了能够容纳这种不对称性的物理理论的发展研究。因此，他在这本小册子中的解说将随着大自然的奥秘不断被揭示出来而生动地展开。

随着物理学的发展，用以表述新的物理定律的数学形式体系也要发展。当数学工具被巧妙地应用到相应的课题中时，它们就会使物理学看起来好像更简单。矢量运算的概念就是一个例子。三维矢量运算原先是为了处理普通空间的物理学问题而发展起来的，它向我们提供了一件用来表述物理定律的珍贵的工具，牛顿物理学定律就是这样的定律，这些定律在空间上没有哪一个方向更为优先。将这个特性用另一种方式表述出来就是，物理定律在普通的空间旋转下具有对称性。费曼令矢量表示法恢复了巨大的威力，使表述这种定律的基本思想重放异彩。

然而，相对论告诉我们，在这种对称变换的作用范围内，时间也应该被引入，因此要用到四维矢量运算。这种运算也由费曼在这本小册子中给我们做了介绍，这本小册子还使我们认识到，不仅时间和空间必须被看做同一个四维体系的不同方面，在相对论的方案中，对能量和动量

有同样的要求。

从物理上看，宇宙的历史应该被看做一个四维时空，而不是被看做一个随时间演化的三维空间，这个观点无疑是现代物理学的基本原理。这是一个其含义不容易被领会的观点。甚至连爱因斯坦在第一次听到这个观点时都没有认同它。实际上，空间-时间的观点并不是爱因斯坦的观点，尽管如此，在公众的头脑中，这个观点常常被认为是爱因斯坦创造的。是德国籍的俄国几何学家H.明可夫斯基于1908年，即庞加莱和爱因斯坦系统地阐述了狭义相对论之后几年，第一次提出了四维时空的观点，明可夫斯基曾经是爱因斯坦在苏黎世工学院求学时的一位老师。在一次著名的演讲中，明可夫斯基宣称："从今以后，孤立的空间，以及孤立的时间注定要退隐成为纯粹的阴影，只有两者之间的某种统一才会保留下来作为一个独立的实体。"[2]

我在上面提到的费曼最有影响力的科学发现来源于他从事量子力学研究时使用的时空方法。因此，空间-时间对于费曼的工作以及对于现代物理学普遍的重要性是无需多言的。正因为如此，费曼在推广他那强调其物理意义的时空概念时具有说服力就不会令人感到意外了。相对论不是凭空想象出来的哲学体系，空间-时间也不仅仅是数学的形式体系。它是我们生活于其中的这个真实宇宙的基本要素。

当爱因斯坦对时空概念变得习以为常之后，他就把这个概念完全接纳到自己思考问题的方式中。这个概念成了他那个狭义相对论（我在前面介绍过的由洛伦兹、庞加莱和爱因斯坦提出的相对论）的推广理论即广义相对论的基本要素。在爱因斯坦的广义相对论中，时空变成弯曲的，我们能够将引力现象结合到这种弯曲中去。显然，这是一个难以领会的观念，而在这一辑演讲汇编的最后一讲中，费曼并没有尝试叙述为了使爱因斯坦的理论得到完整而系统的表述所必需的详尽的数学工具。不过，为了使我们理解上述基本概念，他用具有深刻见解的引人入胜的

类比做了极其生动的表述。

费曼在所有演讲中都极力保持其叙述的准确性，每当他的简化或者类比存在任何可能被误解或导致错误结论的危险时，他几乎总是要对自己所说的话附加条件。不过，我觉得他对爱因斯坦广义相对论的场方程的简化说明需要一个他完全没有给出的条件。由于在爱因斯坦的理论中作为引力源的“有效”质量并不是简单地（根据爱因斯坦的$E=mc^2$）与能量等同；取而代之的是，这个源是能量密度加上压强的总和，而正是这个源令引力造成向内加速的行为。有了这个附加的条件，费曼的解说就完美了，而且为物理学理论的这种最完美和自洽的特性准备了一个极好的介绍。

虽然费曼的演讲当之无愧地针对那些无论是出于专业需要，还是仅凭兴趣而渴望成为物理学家的人，它们无疑也适合那些没有这个愿望的人。费曼坚信（我同意他的意见），根据已经认识到的现代物理学的基本原理去传播我们对宇宙的认识，比起仅仅从物理课所规定的教学内容中获得的知识，其重要性要广泛得多。甚至在晚年，当他参与“挑战者号”灾难事故的调查时，他也煞费苦心地在国家电视节目中证明，灾难的原因是某些在日常事件中就应该能够觉察到的东西，他还在电视摄像机前做了一个简单但令人信服的实验，用来说明航天飞机的“O”形环在寒冷条件下的脆弱特性。

他无疑是一位杂耍演员，有时候甚至是一个小丑；但是，他的首要目的总是严肃认真的。而又有什么事情的目的能够比在最深刻的层次上认识我们这个宇宙的特性更为严肃认真的呢？在传播这种认识方面，理查德·费曼的地位是至高无上的。

特别序言

（选自费曼《物理学讲义》）

大卫·L.古德斯坦

格里·纽吉堡尔

1989年4月于加州理工学院

在他生命的暮年，理查德·费曼的声望已经超出了科学界的范围。作为调查“挑战者号”航天飞机灾难事故委员会的一员，他的功绩使他广为人知；同样，一本有关他那富于传奇色彩的生涯的畅销书使他成为人们心目中几乎与阿尔伯特·爱因斯坦并驾齐驱的著名人物。不过，哪怕退回到1961年，在他获得诺贝尔奖而在公众中声名大噪之前，费曼也并不仅仅在科学界闻名——他是一个传奇式的人物。他那非凡的教学才能无疑促使其传奇故事广为流传，并增添了神奇的色彩。

他不愧是一个伟大的教师，也许是自他那个时代以来最出色的。对于费曼来说，演讲大厅就是一个大剧场，演讲的人就是一个演员，既负责提供剧本，也要提供渲染演出效果的焰火以及要传达给听众的事实和数字。他会在讲坛上来回走动，挥动着双手，“理论物理学家与马戏团的杂耍演员两者难以做到的结合，在所有身体动作和声响效果上”，《纽约时报》这样写道。不论他演讲的听众是学生、同事还是公众，那些有幸目睹费曼演讲的人，对其讲演的感受都是非比寻常的，而且总是难以忘怀，就像对费曼本人一样。

他是一个喜剧大师，善于吸引各种层面的听众的注意力。许多年前，他讲授过一门高等量子力学课程，这是为加州理工学院的一些在校研究生和该校物理系的大部分教师开设的一门大课。在其中一次讲课中，费曼开始说明如何用图解法表达某些复杂的积分：时间用这根轴表示，空间用那根轴表示，这条直线就用波状线表示，等等。在描述完物理学界熟知的费曼图之后，他转过身来面对着全班学生，诡秘地咧嘴笑道："这就是那个图！"费曼的演讲结束了，演讲大厅爆发出一阵阵自发的喝彩和掌声。

在完成本书讲义之后许多年里，费曼偶尔担任了加州理工学院大学一年级学生的物理学课程的客座授课。由他出马自然要保密，使得演讲大厅中有座位留给那些登记选课的学生。在这样一次演讲中，主题是弯曲的时空，费曼表现得特别出色。不过，最令人难忘的时刻却是在演讲开始的时候。当时1987超新星刚刚被发现，费曼对此感到非常兴奋。他说："第谷·布拉赫有他的超新星，开普勒也有。之后400年间就再也没有过了。可是现在，我也有我的超新星了。"教室里安静下来了，费曼继续说道："在银河系中有10^{11}颗星星。通常，这是一个巨大的数字。但是，这只不过是1000亿而已。它比我国的财政赤字还小呢！我们通常把这些数字叫做天文数字。可现在，我们应该把它们叫做经济学数字了。"全班情不自禁地大笑起来，而费曼，在抓住了听众之后，继续他的演讲。

除了表演才能之外，费曼的教学技巧并不复杂。我们在加州理工学院档案库保存的文件里找到了说明他的教学理念的一段概括性的话，这是他1952年在巴西时为自己匆忙写下的一张便笺：

"首先要搞清楚你为什么要学生学这个专题，以及你要他们知道哪些东西，至于用什么方法就或多或少由常识给出了。"

费曼所谓的"常识"常常就是完全抓住问题本质的出色技巧。在一次

对公众的讲演中，他要解释为什么不可以用提出观念的同一组数据来检验这种观念。似乎是偏离了演讲的主题，费曼开始讨论汽车牌照问题。“你们看，今晚发生了一件最令我吃惊的事情。当时，我正到这里来演讲，我穿过停车场进来了。你们不会相信发生了什么事情。我看到了一辆汽车，车牌是ARW 357。你能想象吗？在全国几百万个车牌中，今晚我看到这个特殊车牌的机会有多大？真令人惊奇！”甚至许多科学家也未能掌握的问题，通过费曼那非比寻常的“常识”却弄明白了。

在加州理工学院的35年中（1952～1987），费曼创下了讲授过34门课程的纪录。其中25门课程是研究生的高级课程，只限于研究生修读，本科生要修读这些课程需要获得批准（他们常常修读这些课程，因为请求几乎总是获得批准）。其余的课程主要是研究生的入门课程。纯粹为本科生开设的课程，费曼只教过一次，这就是在1961～1962学年和1962～1963学年备受称道的那一次，在1964年又简略地重讲了一次，这次讲课的内容后来就编成了《物理学讲义》。

当时，加州理工学院中有一个共识，那就是大学一、二年级的学生常被头两年必修的物理学课程搞得情绪低落、毫无兴趣，而不是受到激励。为了纠正这种状况，学院要费曼给学生开设一系列覆盖两年时间的讲座，先给一年级的学生讲，接着再给升上二年级的同一班级的学生讲。在得到他同意后，学院很快就决定，将讲课的内容记录下来出版。结果发现，这项工作比人们想象的要困难得多。要将讲课的内容整理成可以出版的讲义，费曼的同事需要做大量的工作，而他本人也一样，要对每一章的内容做最后校订。

课前还得先讲一讲开设这门课程的基本想法和组成部分。由于费曼对要讲什么只有一个不明确的大纲，使这项工作变复杂了。这意味着，只有当费曼站在坐满学生的演讲大厅中讲课时，人们才知道他要讲些什么。然后，学院里协助他工作的教授就会急急忙忙地处理像编写课外作

业之类的琐碎细节。

费曼为什么要花上两年多的时间改革普通物理学的教学方法呢？人们只能推测其中的原因，不过，基本的原因大概有三个。第一个是他喜欢有一大群听众，这给了他一个比研究生课程中所拥有的更大的剧场；第二个是他真诚地关爱学生，他朴素地认为，教大学一年级的学生是一件重要的事情；第三个而且可能是最重要的原因是，按照他自己的理解来重整物理学，使得能够把它传授给年轻的学生，这是一项极富挑战性的工作。这是他的特性，是他衡量某件事情是否真正理解了的标准。有一次，学院的一位老师请费曼解释自旋等于1/2的粒子为什么服从费米-狄拉克统计。他完美地给这位听众解释了一番，并说道，“我将就这个问题为大学一年级学生开一次讲座。”可是过了几天他回来说，“不行，我干不了这件事。我没法把它简化到大学一年级的水平。这意味着实际上我们并不理解它。”

将艰深的概念化解为简单的、可以理解的词句，这种特色在整部《物理学讲义》中都很明显，但是，表现得最突出的是他对量子力学的讨论。对于那些费曼迷来说，他所做的事情是清楚的。他向刚入门的学生介绍了路径积分方法，这是他发明的用来解决某些最深奥的物理问题的方法。他用路径积分所做的工作，以及其他成就，使他与朱利安·施温格和朝永振一郎一起分享了1965年度的诺贝尔奖。

掀开久远记忆的面纱，许多参加过讲座的学生和教师都说，与费曼共度物理学课程的两年时光是人生难得的一次经历。不过，当时的情况似乎并不是这样。许多学生害怕进入教室，随着课程的进展，来上课的注册选课的学生人数开始急剧地下降。可是同时，越来越多的教师和研究生开始来听课了。教室一直挤得满满的，费曼也许从来就不知道他正在失去一部分他特意要争取的听众。不过，即使在费曼看来，他在教学方法上的创新尝试也并不成功。1963年他在《物理学讲义》的序言中写

道：“我不认为我对学生做得很好。”重读这些讲义，人们有时似乎感到费曼正注视着他的同事而不是他的年轻学生，说道，“看哪！看一看我是如何略施小计解决这个问题的！难道这不是很巧妙吗？”可是，即使他认为他是在给大学一、二年级学生做出浅显易懂的解释，真正能够从他做的事情中获得最大收益的却并不是他们。这个巨大成就的主要受益者是他的同行们——科学家、物理学家和教授，透过理查德·费曼那新颖的和富有活力的观点审视物理学。

费曼不仅是一位伟大的教师；他的才华在于他是教师们的一个出色的老师。如果编写《物理学讲义》的目的只是为挤满一堂的大学本科生解决物理学课程的考试问题，那么，他并不特别成功。而且，如果原来的意图是把这些讲义用作大学的入门教科书，也不能说他实现了目标。尽管如此，这套讲义已经被翻译成10种语言，并且有4种双语版本。费曼本人认为，他对物理学最重要的贡献不是量子电动力学，不是液氦的超流理论，不是极化子模型，也不是部分子模型。他的主要贡献是这3本《物理学讲义》。这个看法表明，出版这几本备受称道的讲义的这个纪念版是完全有道理的。

费曼的序言
（选自费曼《物理学讲义》）

理查德·费曼

1963年6月

这是我去年与前年在加州理工学院给大学一、二年级学生讲授物理学时的讲义。这本讲义当然不是逐字逐句的讲课记录稿——它们或多或少都经过编辑加工。讲课只是构成整个课程的一部分。全班180个学生每周两次聚集在一个大教室中听课，然后分成15～20个学生一组的复习讨论小组由助教进行辅导。此外，每周还有一次实验课。

在这些课程中，我们想要解决的主要问题是，使那些充满热情而且相当聪明的中学毕业后进入加州理工学院的学生仍然保持他们的兴趣。他们早就听许多人说过物理学如相对论、量子力学和其他近代概念是如何有趣、如何引人入胜了。但是，当他们学完两年我们以前的那种课程后，许多人就泄气了，因为教给他们的实际上很少有意义重大的、新颖的和现代的观念。要他们学的还是斜面、静电及诸如此类的内容，两年过去了，不免令人相当失望。问题是，我们是否能开设一门课程来顾全那些更优秀、更勤奋的学生，使他们保持求知的热情。

这份讲义完全不是概论性的，而是一门极其严肃认真的课程。我设想这些课程是对班级中最聪明的学生讲的，而且只要有可能，就要确保甚至最聪明的学生也不能完全消化讲课中的所有内容（通过在讲课中提

出一些有关的观念和概念在主要线索之外各个方向上的应用）。为此，我试图使所有的陈述尽可能准确，在每种场合都指出有关的公式和概念在整个物理学中占有什么样的地位，以及（随着学习的深入）应该怎样做出修正。我还感到，对于这样的学生，重要的是向他们指出，哪些东西是他们通过对已学过的知识进行演绎就应该能够理解的（如果他们足够聪明的话），哪些东西是作为新东西而引入的。每当新概念出现时，如果这些概念是可以推演出来的，我就尽量把它们推演出来，否则就说明这是一个新概念，它不以任何他们学过的知识为基础，而且认为它是不能证明的——它只是新引进来的。

在课程开始时，我假定学生们在中学毕业时已经知道了某些内容——比如说几何光学、简单的化学概念等。我也看不出有任何理由要按某个确定的顺序来讲授这门课，这个顺序意味着在做好准备详细讨论某个概念之前，我不能提到这个概念。我在讲课中曾经提到过许多将会详细讨论的内容，而提到时并未进行充分的讨论。这些问题的更完整的讨论要等到以后当学生的预备知识更充足时再进行。对电感和能级的讨论就是两个例子，最初只是以非常定性的方式引入这些概念，后来才更全面地展开讨论。

在对准那些更主动的学生的同时，我也希望照顾到另一些学生，对他们来说，这些额外的五花八门的内容和附带的应用只会使他们感到烦恼，也根本不指望他们能听懂讲课中的大部分内容。对这些学生，我希望至少有一个他能够掌握的中心内容或主干材料。即使他并不理解一堂课中的所有内容，我希望他也不要紧张不安。我并不要求他理解所有的内容，只要求他理解核心的和最直接的部分。当然，他也得有一定的水平来领会哪些是主要的定理和概念，哪些是更复杂的枝节问题和实际应用，只有在以后才会理解。

在讲课的过程中遇到了一个严重的困难：没有任何来自学生的反馈

信息向我说明讲课的效果究竟如何。这的确是一个很严重的困难，我不知道讲课的效果实际怎样。整件事情实质上是一次实验。如果我真的再讲一次的话，我将不会按同样的方式去讲了——我希望我不必再讲一次！不过我认为，在第一年中这些课程——就物理内容来说——还是相当令人满意的。

在第二年里，我就不那么满意了。课程的第一部分讨论电磁学，我想不出任何真正独特或不同寻常的处理方法——比通常的讲述方式更为引人入胜的任何处理方法，因此，我不认为我在讲授电磁学时做了很多事情。在第二年末，我本来打算继电磁学之后再讲一些物性方面的内容，主要讨论基本模式、扩散方程的解、振动系统、正交函数等问题……逐步阐述通常称为“数学物理方法”的初步内容。现在回想，如果再讲一遍的话，我会回到原来的这个想法上去的。但是，由于没有计划要我再讲一遍这门课，有人就建议，试着介绍一下量子力学可能是个好主意——这就是大家将在第三卷中看到的内容。

很清楚，主修物理学的学生可以等到第三年再学习量子力学；另一方面，有一种说法认为许多修我们这门课的学生只是把学习物理学作为他们在其他领域中的主要兴趣的背景知识。而通常处理量子力学的方法使大多数学生几乎无法利用这门学科，因为他们必须花相当长的时间去学它。然而，在量子力学的实际应用中——特别是在较复杂的应用，如电机工程和化学领域中——整个微分方程的处理方法实际上并没有被用到。因此，我试着这样来叙述量子力学的原理，即不要求学生首先熟悉偏微分方程这个数学工具。我想，即使对一个物理学家，由于在讲义本身中可以明显看出的一些原因，按照这种颠倒的方式来介绍量子力学也是一件值得一试的有趣的事。然而，我认为，在量子力学方面的尝试并不完全成功——这主要是因为在最后我实际上已经没有足够的时间了（比如说，我应该再多讲三四次课，以便更完整地讨论诸如能带、概率幅的空间依赖关系等问题）。还有，我过去从未以这种方式讲授过这个

专题，因此，反馈信息的缺乏就尤其严重。我现在相信，还是应当迟一些再讲授量子力学。也许有一天我会有机会再来讲授这个专题。那时我会讲好这门课程。

没有编写如何解题的章节是因为另有答疑辅导课。虽然我在第一年中的确讲过三次怎样解题的内容，但并没有把它们编在这本讲义中。在转动系统这部分内容后面肯定还讲过一次惯性导航的问题，可惜它被遗漏了。第五讲和第六讲实际上是由马修·桑德斯讲授的，当时我不在城里。

当然，问题是这次试验的效果究竟如何，我个人的看法——然而，与学生一起学习的大部分教师似乎并不同意这种看法——是悲观的。我并不认为我对学生做得很好。当我看到大多数学生在考试中处理问题的方法时，我认为整个这次试验是一次失败。当然，朋友们提醒我，也有那么一二十个学生——非常出人意料地——理解了全部课程中的几乎所有内容，他们还非常积极地阅读有关的材料，兴致勃勃地思考各种问题。我相信，这些学生现在已经具备了第一流的物理学背景知识——他们毕竟是我想要培养的那种学生。不过，正如吉本[3]所说，“教育的威力是难得见成效的，除非教者与被教者双方是理想的组合，然而这时教育又几乎是多余的了。”

尽管如此，我并不希望让任何一个学生完全落在后面，虽然也许曾经发生过这样的事。我认为，我们能够更好地帮助学生的一个办法就是，多花一些精力去编写一套能够说明讲课中某些概念的习题集。习题提供了一个充实讲课内容的良好机会，使已经讲过的概念更实际、更完整而且记得更牢。

然而，我认为，除非我们认识到，只有当一个学生和一个优秀的教师之间建立起个人的直接联系的情况下——这时学生可以讨论概念、思考问题和讨论问题——才能达到最好的教学效果，否则没有任何办法解

决教育中的这个问题。只是坐着听课，做指定的习题，是不可能学到很多东西的。不过，在现在这个时代，我们有这么多学生要教育，因此，我们不得不试着寻找某种代替理想情况的方法。也许我的讲义能够做出一些贡献。也许在某些小地方有个别的教师和学生会从讲义中得到一些启示或者想法。也许他们乐于透彻地思考讲义的内容——或者进一步发展其中的一些想法。



第一章
矢量

1-1　物理学中的对称性

在这一章中，我们将介绍一个问题，这个问题在物理学的术语中叫做物理定律的对称性。在这里，“对称性”这个词是在一种特别的含义下被使用的，因此需要对它做出界定。一件事物什么时候是对称的——我们该如何定义它呢？当我们拿起一幅对称的图画时，它的一边总是与另一边相同。赫尔曼·外尔教授曾经给对称性下过这样的定义：如果能够让一件事物经历某个操作，而且它在经历了这个操作之后看上去没有任何变化，就说这件事物是对称的。比如说，如果我们观赏一个左右对称的花瓶，那么，让它绕垂直轴转过180°，它看上去就与原来一模一样。关于对称性，我们将采用外尔这种较为普遍的定义，我们将用这种定义讨论物理定律的对称性。

设想我们在某个地方建造一台机器，它由许多不同的部件组成，各个部件之间有大量错综复杂的相互作用，还有相互之间有作用力的活蹦乱跳的小球，如此等等。接下来设想我们在另外某个地方建造完全同类型的装置，每个部件都与原来的一模一样，相同的尺寸和取向，除了水平地移动了一段距离外，一切相同。然后，如果我们在严格一致的相同的初始状态下开动两台机器，我们要问：某台机器与另外一台机器会完全一样地运转吗？它们会严格对应地实现所有动作吗？有充分的理由认为答案是否定的，原因是，如果我们建造机器的地点选择不当，它就会有可能被安装在某个围墙中，来自围墙的干扰就有可能使机器的运转失灵。

物理学中所有的观念都需要我们懂得应用它们的常识；它们并不是纯粹的数学观念或者抽象概念。当我们说将机器移到新的地点后现象相同这句话时，必须明白自己在说什么。这句话表示移动各种我们认为是相互关联的物体；假如现象不一样，就认为某些相关的东西没有被移过

去，那就得再把它找出来。假如我们一直都找不到这种东西，那就得断言物理定律不具有这种对称性；另一方面，假如物理定律确实具有这种对称性，我们就可以找到它（我们预料能找到它）；环顾四周，我们就会发现，比如说，围墙正在影响着我们的机器。根本的问题在于，假如我们把事物确定得足够明确，假如所有必不可少的力都包括在机器中，假如所有相关的部件都从一个地点移到另一个地点，那么，这些规律是否会一样呢？机器是否会以相同的方式运转呢？

显然，我们想要做的事情是移动所有的设备和基本影响，但并不是世界上所有的物体——行星、恒星等，因为如果我们这样做了，我们就会由于显而易见的理由重现相同的现象，这个理由就是，我们正好回到开始时的状态。不，我们不能移动所有的物体。不过，实践表明，只要我们对所要移动的事物有一定的了解，机器就会运转。换句话说，假如我们不把机器安装在围墙里面，假如我们知道外力的起因，并设法把这些力也移走，那么，这部机器在某个地点就会像在另一个地点一样以相同的方式运转。

1-2 平移

我们将把分析局限在力学范围，关于这个领域我们现在有足够的知识。在前面的章节中我们已经看到，对于每一个粒子，力学定律能够用三个方程构成的方程组来概括：

$$m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}=F_x,\ m\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}=F_y,\ m\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}=F_z \qquad (1.1)$$

这就意味着有办法在三个相互垂直的轴上测量x，y和z，以及沿着这些方向的力，以便使上述定律成立。这些测量必须从某个原点开始，可是我们把原点放在哪里呢？当初，牛顿理论所能告诉我们的是，存在某个位

置，我们能够从这个位置开始测量，以确保这些定律是正确的，这个位置也许就是宇宙的中心。但是，能够立刻证明，我们永远找不到这个中心，因为如果我们使用别的某个原点，所得到的结果没有任何差别。换句话说，设想有两个人，一个是乔，他在某个位置有一个原点，另一个是莫，他有一个平行的坐标系，但原点在别的位置（图1-1）。当乔测量空间某点的位置时，他发现这个点在x，y和z处（我们通常会把z轴省略，因为在图中把它画出来就太乱了）。另一方面，当莫测量同一个点时，他会得到一个不同的x（为了区分它，我们将把它叫做x'），而且原则上也得到一个不同的y，尽管在这个例子中它们数值相同。因此有

$$x' = x - a,\ y' = y,\ z' = z \tag{1.2}$$

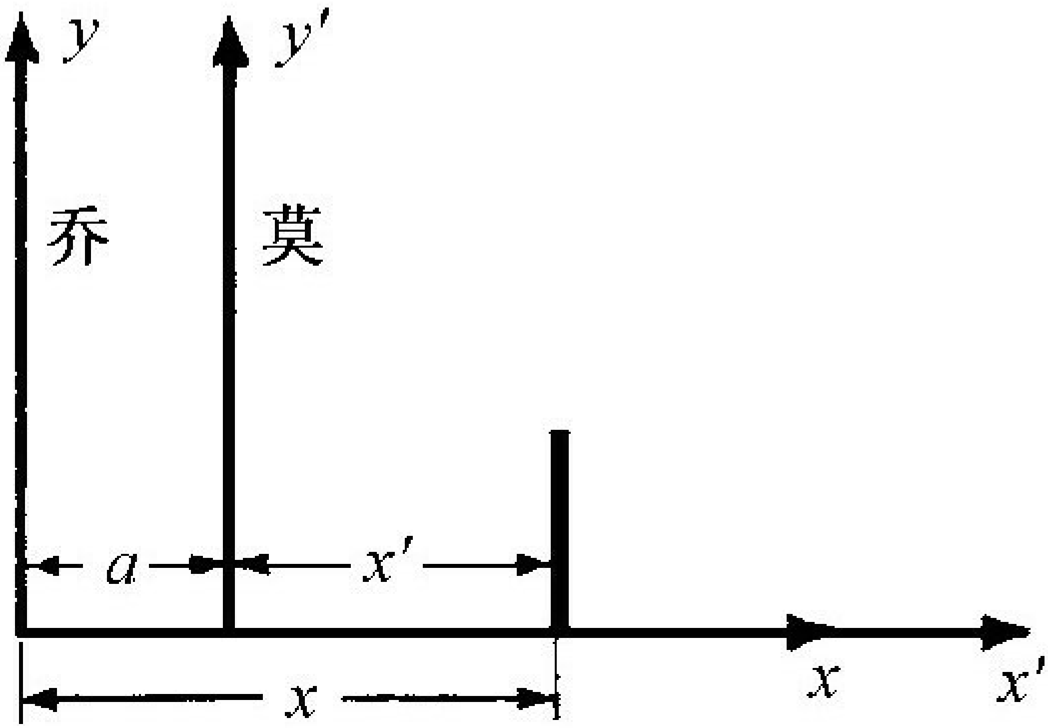


图1-1　两个相互平行的坐标系

为了完成我们的分析，必须知道莫测量力时会得到什么。力被设想成沿着某条线作用，而x方向的力则表示整个力在x方向的那个部分，是

力的大小乘以它和x轴的夹角的余弦。现在我们看到，莫使用的投影与乔使用的投影完全相同，于是我们得到以下一组方程

$$F_{x'}=F_x,\ F_{y'}=F_y,\ F_{z'}=F_z \tag{1.3}$$

这些就是由乔和莫所测得的量之间的关系。

问题在于，如果乔认识牛顿定律，而莫也试图写出牛顿定律，那么，这些定律对他来说还正确吗？从他的原点开始测量，位置会有任何差别吗？换句话说，假定方程组（1.1）是正确的，而方程组（1.2）和（1.3）给出测量结果之间的关系，以下方程

（a）$m\dfrac{\mathrm{d}^2x'}{\mathrm{d}t^2}=F_{x'}$,

（b）$m\dfrac{\mathrm{d}^2y'}{\mathrm{d}t^2}=F_{y'}$,　　（1.4）

（c）$m\dfrac{\mathrm{d}^2z'}{\mathrm{d}t^2}=F_{z'}$,

对还是不对呢？

为了检验这些方程，我们将对公式中的x'求导两次。第一次求导给出

$$\frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(x-a)=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}-\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}t}.$$

在这里，我们将假定莫的原点相对于乔的原点是固定的（不动的）；这样，a是一个常数，而da/dt=0，于是得到

$$\frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},$$

由此可以得到

$$\frac{\mathrm{d}^2x'}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2};$$

因此，我们确信方程（1.4a）变成

$$m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}=F_{x'}.$$

（我们还假定，由乔和莫测得的质量相等。）这样，加速度乘以质量的结果与另一位同伴的结果相同。我们还得到了关于$F_{x'}$的公式，将结果代入方程（1.1）中，我们就得到

$$F_{x'}=F_x.$$

因此，由莫看到的规律看来是相同的；他用不同的坐标系也可以5

写出牛顿定律，这些定律仍然是正确的。这就意味着，没有惟一的方法定义世界的原点，原因就是无论从哪个位置观测，这些定律看起来都将是相同的。

以下的说法也是正确的：如果在某个地点有一件带有某种机械装置的设备，在另一个地点上相同的设备将以相同的方式运转。为什么会这样呢？因为一部由莫研究的机器与另一部由乔研究的机器满足完全相同的方程。既然方程是相同的，那么，现象看起来就是相同的。于是，证明一部机器在新位置的行为与在老位置的行为相同，或者证明在空间中移动时方程的形式不变，两者是一回事。由于这个原因，我们说物理定律对于平移变换是对称的，这个说法表示，当我们进行坐标平移时物理定律并不改变。当然，从直观上看，这个说法显然是正确的，但是，讨论其数学表述是引人入胜和令人愉快的。

1-3　旋转

以上是一系列比较复杂的命题中的第一个命题，这些命题与物理定律的对称性有关。下一个命题说，无论我们将坐标轴指向何方都不会引起差异。换句话说，假如我们在某个地方建造了一台设备，并观察它运转，又在附近建造一台同类型的设备，但是摆放的方位转过一个角度，它会以相同的方式运转吗？显然不会，比如一个有摆的落地大座钟就是例子！如果把一个摆钟竖直放置，它就会走得很好，但是如果把它斜着放置，摆锤就会碰到钟罩的壁，钟就停下来了。于是，对于一个摆钟，上面的法则就不灵了，除非我们把吸引着钟摆的地球也算进去。因此，假如我们相信，对旋转来说物理定律是对称的，就能够对摆钟做出如下预言：除了摆钟的机械部件之外，在它的运转中还包含着一些别的因素，一些我们应该去寻找的外在的因素。我们还可以预言，相对于这个神秘的不对称之源（也许就是地球），当摆钟被放置在不同的地点时，它将不会以相同的方式运转。确实如此，比如说，我们知道，一个放在

人造卫星上的摆钟根本就不走，原因就是没有对它起作用的力，而在火星上，摆钟将以不同的速率运转。除了单纯的机械部件之外，摆钟里边确实包含某些别的东西，一些外在的东西。一旦认识到这个因素，我们就会明白，必须让地球随同机件一起转动。当然，我们无须为此担心，这是很容易做到的；只要等上那么一会儿，地球就会转过去；于是，摆钟在新的位置上就会像先前那样重新运转起来。当我们在空间中旋转时，转角必定是在不断变化的；这种变化似乎并没有给我们带来太多的麻烦，因为，在新的位置上，我们似乎处于与老地方相同的条件下。这很可能会令人迷惑不解，原因在于，物理定律在转动后的新位置上与在未经转动的位置上确实是相同的，但是，当我们转动一个物体时，说它遵从的定律与不去转动这个物体时它遵从的定律相同，这就不对了。假如我们做足够精密的实验，就能够断定，地球正在转动，但却不能说出它转过多少。换句话说，我们不能确定它的方位，但是能够断定它的方位在改变。

现在，我们可以来讨论角取向对物理定律的影响。让我们再来看一看，乔和莫两人玩的把戏是否能够重演。这一次，为了避免不必要的麻烦，我们将假定乔和莫采用同一个原点（我们已经证明过，坐标轴可以通过平移被移至别的地方）。假设莫的轴相对于乔的轴转过了一个角度θ。这两个坐标系如图1-2所示，只限于两维的情况。考虑任意一点P，在乔的坐标系中，它的坐标是（x, y），而在莫的坐标系中，它的坐标是（x'，y'）。和前面的例子一样，我们将这样开始：用x, y和θ来表示坐标x'和y'。为了这样做，我们先从P点向四根坐标轴各画一条垂线，并画出垂直于PQ的线AB。看一看这张图就可以看出，x'可以写成沿着x'轴的两段长度之和，而y'则可以写成沿着AB线上的两段长度之差。所有这些长度都用x, y和θ表示出来，如方程（1.5）所示，其中已经加上了一个第三维的方程。

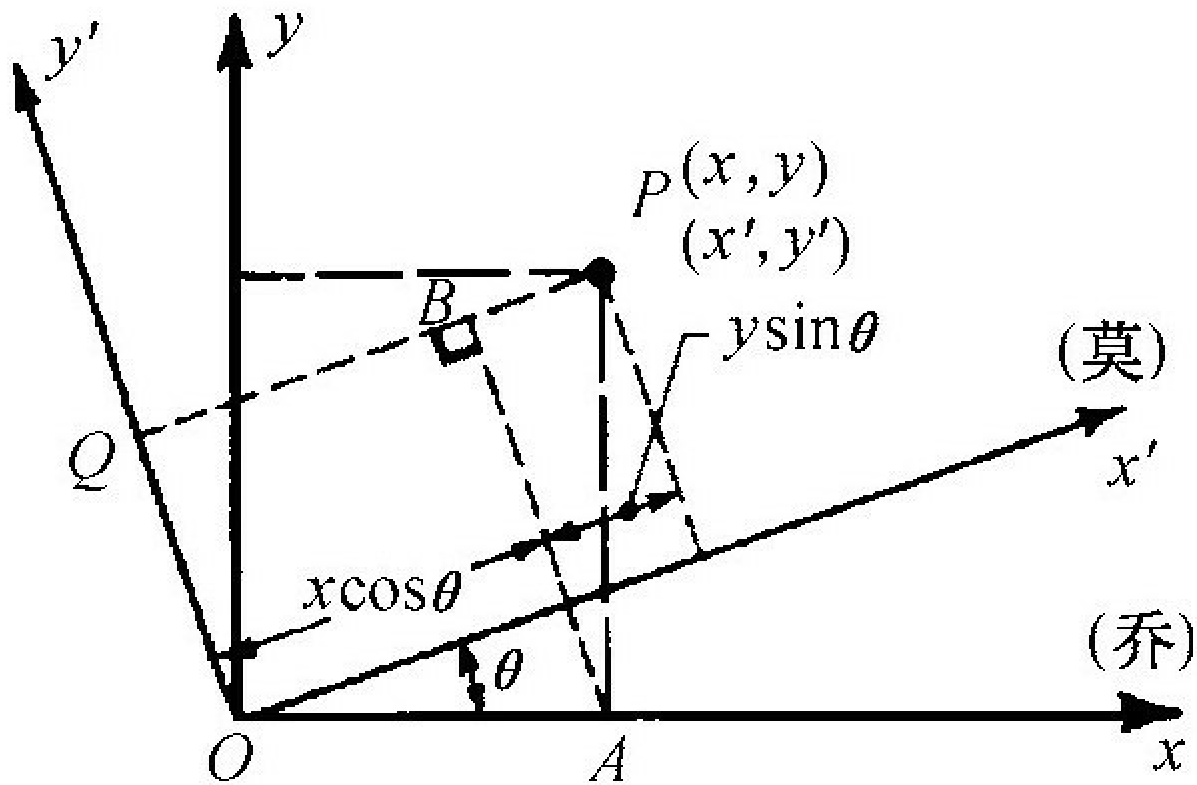


图1-2　具有不同角取向的两个坐标系

$$x' = x\cos\theta + y\sin\theta,$$

$$y' = y\cos\theta - x\sin\theta, \qquad (1.5)$$

$$z' = z.$$

下一步是，使用与前述相同的一般方法分析两个观测者所看到的那些力之间的关系。假设有一个力，（在乔看来）具有分量F_x和F_y，它正作用在一个质量为m，位于图1-2中P点的粒子上。为了简单起见，我们将两套坐标轴的原点移到P点，如图1-3所示。莫看到F沿着他的坐标轴的分量是$F_{x'}$和$F_{y'}$。F_x具有沿着x′轴和y′轴的分量，而F_y也同样具有沿着这两根轴的分量。为了用F_x和F_y表示$F_{x'}$，我们把它们沿着x′轴的这些分量加起来，利用同样的方法我们能够用F_x和F_y表示$F_{y'}$。所得到的结果是

$$F_{x'} = F_x \cos\theta + F_y \sin\theta,$$

$$F_{y'} = F_y \cos\theta - F_x \sin\theta, \qquad (1.6)$$

$$F_{z'} = F_z.$$

有趣的是看到一个出人意料的，然而却极其重要的情况：分别表示*P*的坐标和*F*的分量的公式（1.5）和（1.6）具有相同的形式。

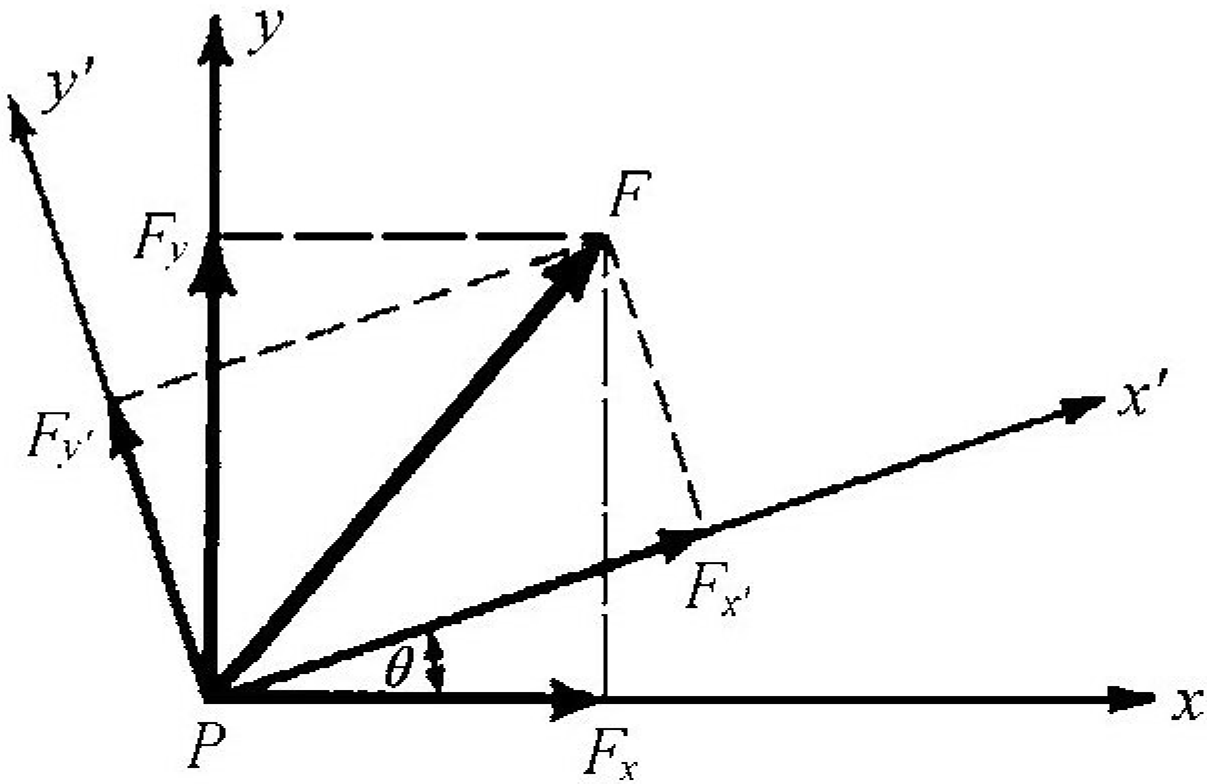


图1-3　一个力在两个坐标系中的分量

和前面一样，假设牛顿定律在乔的坐标系中成立，并由方程（1.1）表示。问题仍然是，莫是否能够应用牛顿定律——对于他那个坐标轴已被转动过的坐标系，所得到的结果还对吗？换句话说，如果我们假定方程（1.5）和（1.6）给出测量结果之间的关系，以下方程

$$m\frac{d^2x'}{dt^2}=F_{x'},$$

$$m\frac{d^2y'}{dt^2}=F_{y'},\qquad (1.7)$$

$$m\frac{d^2z'}{dt^2}=F_{z'},$$

对还是不对呢？为了检验这些方程，我们分别推算方程的左边和右边，

并将推算的结果进行比较。为了推算方程的左边，用m乘方程（1.5），并对时间求两次导数，在推算中假定角度θ是常数。这个运算给出

$$m\frac{d^2x'}{dt^2}=m\frac{d^2x}{dt^2}\cos\theta+m\frac{d^2y}{dt^2}\sin\theta,$$

$$m\frac{d^2y'}{dt^2}=m\frac{d^2y}{dt^2}\cos\theta-m\frac{d^2x}{dt^2}\sin\theta,\qquad (1.8)$$

$$m\frac{d^2z'}{dt^2}=m\frac{d^2z}{dt^2}.$$

将方程（1.1）代入方程（1.6）就可以推算方程（1.7）的右边。这个运算给出

$$F_{x'}=m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\cos\theta+m\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\sin\theta,$$

$$F_{y'}=m\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\cos\theta-m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\sin\theta, \tag{1.9}$$

$$F_{z'}=m\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}.$$

看到了吧！方程（1.8）和（1.9）的右边相等，我们因此推断，假如牛顿定律在一个坐标系中是对的，那么，它们在任何别的坐标系中也是对的。到目前为止，这个结果已经在坐标轴的平移和旋转操作下得以确立，由此得出一些推论：首先，没有人能够宣称他自己的坐标系是独一无二的，不过当然啦，它们对解决某些特定的问题会更加方便。比如说，把引力的方向选做某根轴的方向是方便的，但在物理上这并不是必需的。其次，这个结果意味着，任何一套设备，如果它是完整的，即所有产生力的装置全部安装在里面，那么，当转过一个角度时，它的运转方式不变。

1-4　矢量

不仅牛顿定律，到目前为止我们所认识的其他物理定律，都具有这两种对称性，即在坐标轴的平移和旋转操作下的不变性。由于这些性质如此重要，因此已经发展了一种数学方法，用来书写和使用物理定律。

前面的分析含有很多乏味的数学运算。为了在这种问题的分析中把这些琐碎的细节减到最小程度，人们发明了一种强有力的数学工具。这种方法叫做矢量分析，它确定了本章的标题；不过，严格地说，这一章讲的是物理定律的对称性。利用前述的分析方法，我们就能够进行任何必要的分析工作，以获得所要寻找的结果，不过在实际上，我们总是喜

欢把事情做得更轻松更迅速，因此我们使用矢量方法。

我们先来看一看在物理学中两种重要的量的某些性质（实际上不止两种，不过还是让我们从两种着手吧）。其中一种量，例如布袋中的马铃薯的数目，叫做普通的量，或者叫做无指向的量，也叫做标量。温度就是这种量的一个例子。在物理学中，其他重要的量是有指向的，比如说速度：我们不仅要知道一个物体的速率，还必须记录它向哪个方向运动。动量和力也是有指向的，位移也一样：当一个人在空间中从一个地点走向另一个地点时，我们可以记录他走了多远，但是如果我们还希望知道他到哪里去，就必须明确他走的方向。

所有像在空间中走的一步那样有指向的量，叫做矢量。

一个矢量就是三个数。为了表示在空间中所走的一步，比如说从原点到某个坐标是（x, y，z）的特定的点P，我们确实需要三个数，不过，我们打算造一个单个的数学符号r，这个符号与我们曾经用过的任何别的数学符号不一样。[4]它不是一个单个的数，而是表示三个数：x, y和z。它意味着三个数，但实际上又不仅是那三个数，因为，如果我们采用另一个不同的坐标系，这三个数就要变成x'，y'和z'了。不过，我们希望保持在数学上是简单的，因此，将用相同的记号表示（x, y，z）这三个数和（x'，y'，z'）这三个数。那就是说，在某个坐标系中，我们用一个记号来表示第一个数组的三个数，而在别的坐标系中，我们还是用这同一个记号来表示第二个数组的三个数。这种表示方法有这样的好处，即当我们改变坐标系时，它使我们无需改变方程中的字母。如果我们用x, y，z写下一个方程，又使用另一个坐标系，就不得不把坐标改成x'，y'，z'，但是，利用以下约定，只要写成r就行了，这个约定是：如果我们采用某一坐标系，它就表示（x, y，z），如果我们采用另一坐标系，它就表示（x'，y'，z'），如此等等。在一个特定的坐标系中，描写物理量的三个数叫做矢量在这个坐标系中沿坐标轴方向的分量。也就

是说，在不同坐标系中进行度量时，对应于同一个对象的三个数，我们使用相同的符号标记它。正是我们能够说“相同的对象”这个事实蕴涵着一个物理上的直觉观念，这个观念说的是在空间中走一步这件事，它与我们对其进行测量时所用的分量无关。因此，无论我们怎样转动坐标轴，符号*r*将表示同一个实体。

现在假定有另一个任意的有方向的物理量，任何别的物理量，比如说力，也有三个数与之相联系，如果我们改变坐标系，这三个数就会按照某种数学规则变成三个别的数。这种规则必定与将（x, y，z）变成（x'，y'，z'）所遵循的规则相同。换句话说，任何与三个数相联系的物理量，如果其变换方式与在空间中走一步的分量的变换方式一样，它就是一个矢量。因此，如果一个如下形式的方程

$$\boldsymbol{F}=\boldsymbol{r}$$

在某个坐标系中正确，那么它在任何坐标系中都正确。当然，这个方程代表三个方程

$$F_x=x,\ F_y=y,\ F_z=z,$$

或者也可以代表

$$F_{x'}=x',\ F_{y'}=y',\ F_{z'}=z'.$$

一个物理关系式能够被表示成一个矢量方程，这个事实确保在坐标系只做旋转时，该关系式不会改变。这就是矢量在物理学中为何如此有用的原因。

让我们来考查一下矢量的某些性质吧。作为矢量的例子，我们可以看一看速度、动量、力和加速度。在很多场合下，用一个指示其作用方

向的箭头记号表示一个矢量是方便的。为什么我们能够用比如说箭头记号这样的符号表示力呢？这是因为它与“在空间中走一步”具有相同的数学变换性质。因此，我们把它看成好像是在空间中走一步那样，选取适当的比例使力的单位，即1牛顿，对应于某个方便的长度，用图示的方法表示出来。一旦我们这样做了，所有的力都能够用长度表示，因为如下形式的方程

$$\boldsymbol{F}=k\,\boldsymbol{r}$$

是一个完全合理的方程，其中的k是某个常数。这样，我们就总是能够用直线表示力，这是很方便的，因为一旦画出了直线，就再也不需要坐标系了。当然啦，当三个分量随坐标系转动而改变时，我们能够快速地把它们算出来，因为这仅仅是一个几何学问题。

1-5　矢量代数

我们必须说一下用各种方法将矢量组合起来所要遵循的法则或者规则。第一个这样的组合是两个矢量之和：设a是一个矢量，它在某个特定的坐标系中具有三个分量（a_x,a_y,a_z），而b则是另一个矢量，它具有三个分量（b_x,b_y,b_z）。我们来造三个新的数（a_x+b_x,a_y+b_y,a_z+b_z）。这些数构成一个矢量吗？“唔，”人们也许会说，“它们是三个数，而每三个数就构成一个矢量。”错啦，并不是每三个数都构成一个矢量！为了使它成为一个矢量，不仅需要有三个数，而且这三个数还必须以这样一种方式与坐标系相关联，即当我们转动坐标系时，这三个数会按照我们已经叙述过的确切的规律相互之间“循环出现”，变成彼此“混合在一起”。这样，问题就是，如果我们转动坐标系使（a_x,a_y,a_z）变成（$a_{x'}$，$a_{y'}$，$a_{z'}$），而（b_x,b_y,b_z）则变成（$b_{x'}$，$b_{y'}$，$b_{z'}$），那么，（a_x+b_x,a_y+b_y,a_z+b_z）会变成什么呢？它们会不会变成（$a_{x'}+b_{x'}$，$a_{y'}+b_{y}$

′，$a_{z'}+b_{z'}$）呢？答案当然是肯定的，因为原型变换式（1.5）构成一个所谓的线性变换。假如我们把这些变换用到a_x和b_x上得到$a_{x'}+b_{x'}$，就会发现，变换后的a_x+b_x确实与$a_{x'}+b_{x'}$相同。当a和b在这种意义下被“加起来”时，它们将构成一个矢量，可以用c表示它。我们把这个矢量写成

$$\boldsymbol{c}=\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}$$

这个c具有以下颇有意思的性质

$$\boldsymbol{c}=\boldsymbol{b}+\boldsymbol{a}$$

这一点我们从它的分量中马上就能够看出。还有

$$\boldsymbol{a}+(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c})=(\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b})+\boldsymbol{c}$$

我们可以按照任意次序把矢量加起来。

$a+b$的几何意义是什么呢？如果在一张纸上用直线把a和b表示出来，那么，c是什么样子的呢？结果在图1-4中给出。我们看到，如果将表示b的分量的长方形按图中所示的方式紧挨着表示a的分量的长方形放置，就能够很方便地将b的分量加到a的分量上。由于b正好与它自己的长方形吻合，a也同样与它自己的长方形吻合，因此，这就好像把b的“尾部”放到a的“头部”一样，从a的“尾部”引向b的“头部”的箭头记号就是c矢量。当然，如果我们用另一种方法倒过来把a加到b上，就应该把a的“尾部”放到b的“头部”，利用平行四边形的几何性质就会得到相同的c。请注意，矢量可以按照这种方法加起来而不涉及任何坐标系。

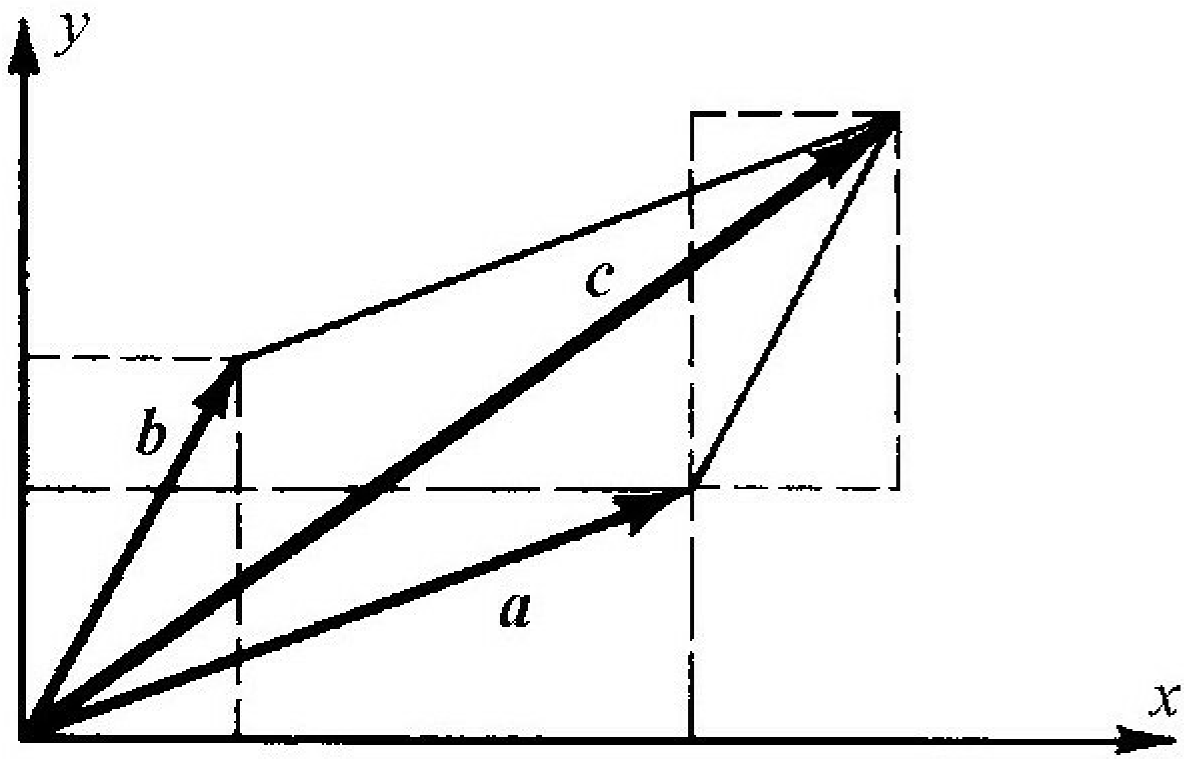


图1-4　矢量加法

假如我们用一个数α乘一个矢量，这意味着什么呢？我们定义它代表一个分量是αa_x，αa_y和αa_z的新矢量。它的确是一个矢量，我们把它作为一个问题留给学生证明。

下面，我们来考虑矢量的减法。我们可以像定义加法那样定义减法，只是用分量相减代替分量相加。我们也可以这样来定义减法：定义一个负矢量，$-b=-1b$，然后把分量相加。用这个方法得到的结果是一样的。结果如图1-5所示。这个图说明$d=a-b=a+(-b)$；我们还注意到，利用等价的关系$a=b+d$很容易从a和b得到差值$a-b$。因此，差值甚至比求和更容易得到：只要从b到a画出矢量，就得到$a-b$了！

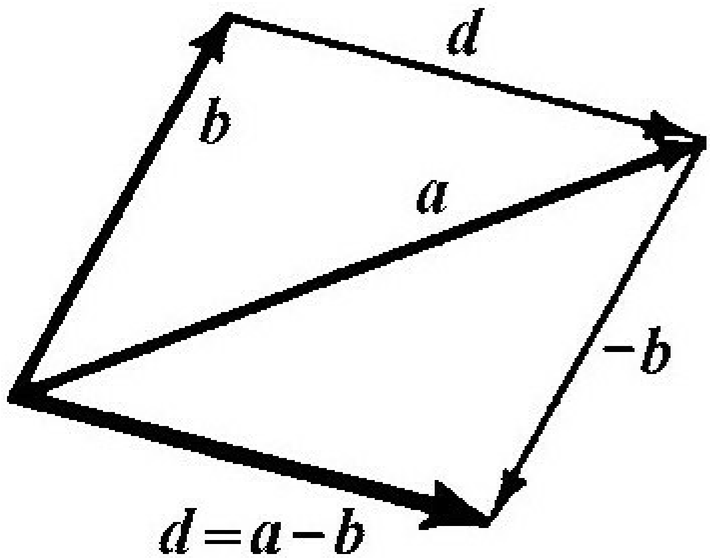


图1-5　矢量减法

接下来我们讨论速度。速度怎么会是一个矢量呢？如果位置用三个坐标（*x*，*y*，*z*）表示，那么速度用什么表示呢？速度是用*dx*/*dt*，*dy*/*dt*和*dz*/*dt*来表示的，这是不是一个矢量呢？我们可以通过对方程（1.5）中的表达式求导数来判断*dx*'/*dt*是否按照恰当的方式变换。我们看到，分量*dx*/*dt*和*dy*/*dt*确实按照与*x*和*y*相同的规律变换，因此，这个时间的导数是一个矢量。由此得出速度是一个矢量。我们可以用一种颇有意思的方式把速度写成

$$\boldsymbol{v} = \mathrm{d}\boldsymbol{r} / \mathrm{d}t$$

速度是什么，它怎么会是一个矢量，这些问题还可以更形象地去理解：一个粒子在一段短的时间Δt内移动了多远呢？答案是：$\Delta \boldsymbol{r}$，因此，如果一个粒子在某一瞬间处于“这里”，而在另一瞬间处于“那里”，那么，位置的矢量差$\Delta r=r_2-r_1$（如图1-6所示指向运动的方向）被时间间隔$\Delta t=t_2-t_1$除，就得到“平均速度”矢量。

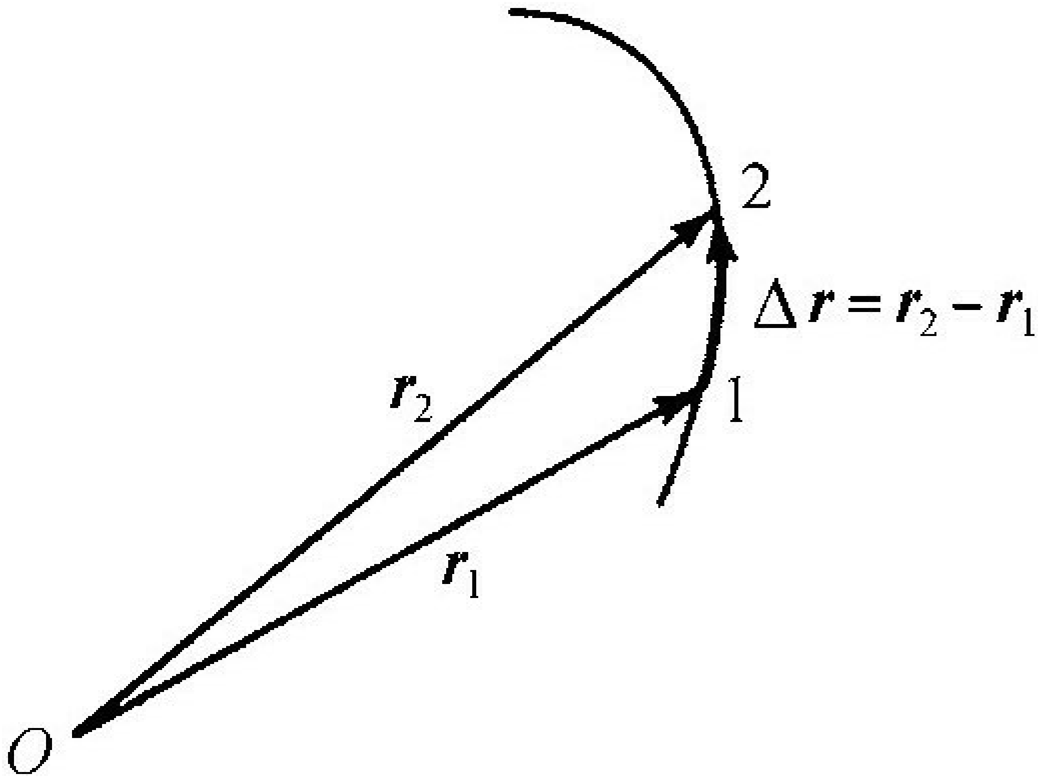


图1-6　一个粒子在一段短的时间间隔$\Delta t = t_2 - t_1$内的位移

换句话说，速度矢量表示这样一种极限，当Δt趋于0时，t+Δt时刻和t时刻径向矢量的差值除以Δt：

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0}(\Delta \boldsymbol{r} / \Delta t) = \mathrm{d}\boldsymbol{r} / \mathrm{d}t \qquad (1.10)$$

由于速度是两个矢量之差，所以它是一个矢量。上述式子也是速度的正确的定义式，因为它的分量就是dx/dt,　dy/dt和dz/dt。事实上，我们从这个论证中看到，如果我们将任意矢量对时间求导，就会造出一个新的矢量。由此看来，我们有几个造出新矢量的办法：（1）用一个常数去乘；（2）对时间求导；（3）把两个矢量相加或者相减。

1-6　用矢量法表示牛顿定律

为了写出矢量形式的牛顿定律，我们只需要再走一步，接着定义加速度矢量就够了。这一步就是速度矢量的时间导数，容易证明它的分量是x, y和z对时间t的二阶导数

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\left(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\right)\left(\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right)=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}, \tag{1.11}$$

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2},\ a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2},\ a_z=\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}. \tag{1.12}$$

利用这个定义，牛顿定律就可以按这样的方式写出：

$$m\boldsymbol{a}=\boldsymbol{F} \tag{1.13}$$

或者

$$m=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}=\boldsymbol{F}. \tag{1.14}$$

于是，证明在坐标旋转下牛顿定律的不变性这个问题就是：证明$\boldsymbol{a}$是一个矢量；我们刚刚做了这个证明。证明$\boldsymbol{F}$是一个矢量：我们假设它是一个矢量。这样，如果力是一个矢量，那么，由于我们知道加速度是一个矢量，因此，方程（1.13）在任意坐标系下看起来都将一模一样。以一种不显含x，y和z的形式写下牛顿定律具有这样的好处，从今以后，每当我们要写下牛顿方程或者其他物理定律时，再也不需要写出三条定律了。表面上看，我们写下一条定律，但实际上对每一个特定的坐标系，自然就是三条定律，原因就是，任何矢量方程表示，方程两边各个

分量相等。

加速度是速度矢量的变化率，这个事实有助于我们在某些相当复杂的情况下计算加速度。比如说，假设一个粒子正在一条复杂的曲线上运动（图1-7），而且在某个特定的时刻t具有确定的速度v_1，而当到达另一个稍晚一点的时刻t_2时，它具有不同的速度v_2。加速度是什么呢？答案是：加速度就是速度之差被这个小的时间间隔除，这样，我们就需要用到两个速度之差。我们如何得到速度之差呢？为了把两个矢量相减，我们过v_2和v_1的终点画出这个矢量；即，取Δ作为两个矢量之差，对吗？不对！只有当矢量的尾部放在同一点上时，上面的做法才行得通！如果我们把矢量移到别的某处再画一条直线过来，就毫无意义了，因此，务必要注意这一点！为了把矢量相减，我们必须画一个新的示意图。在图1-8中，v_1和v_2均被画成与图1-7中它们的对应部分平行而且相等，这样我们就能够讨论加速度了。加速度当然就是$\Delta v/\Delta t$。有趣的是能够将速度之差分解成两个部分；我们可以把加速度看成具有两个分量，一个是与路径相切方向上的$\Delta v_{\parallel}$，另一个是与路径成直角的$\Delta v_{\perp}$，如图1-8所示。与路径相切的加速度当然只是矢量长度的改变，即速率v的改变：

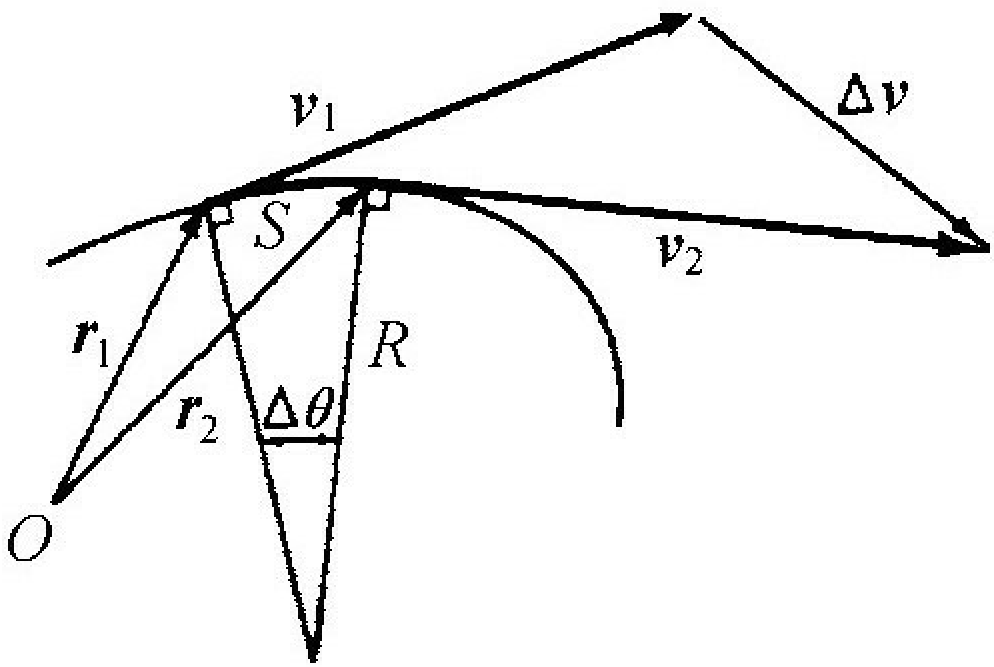


图1-7　一条弯曲的轨道

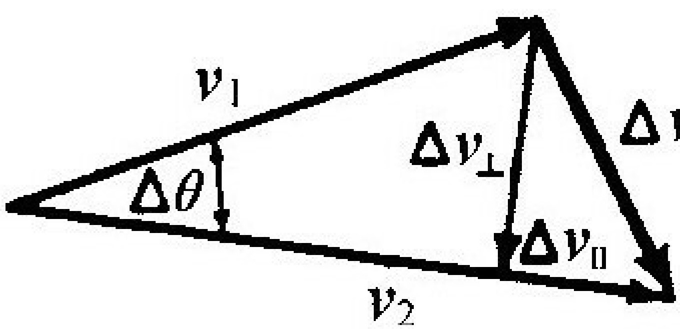


图1-8　计算加速度的示意图

$$a_{\parallel}=\mathrm{d}v/\mathrm{d}t \qquad (1.15)$$

利用图1-7和1-8计算加速度的另一个与曲线正交的分量是很容易的。在短时间Δt内，设v_1和v_2之间的角度改变是一个小角$\Delta\theta$。如果速度的大小用v标记，那么，自然就有

$$\Delta v_{\perp} = v\Delta\theta$$

而加速度*a*就是

$$a_{\perp} = v\ (\Delta\theta / \Delta t).$$

现在我们需要知道Δ*θ*/Δ*t*的值，它可以按照以下方法求出：在某个确定的时刻，如果曲线近似于某个具有确定半径*R*的圆，那么，在时间Δ*t*内距离*s*自然就是*v*Δ*t*，其中*v*是速率。

$$\Delta\theta = v\ (\Delta t / R),\text{或者}\ \Delta\theta/\Delta t = v / R.$$

因此得到

$$a = v^2 / R, \tag{1.16}$$

与先前见过的一样。

1-7 矢量的标量积

现在进一步考查矢量的性质。容易看出，在空间中走一步的长度在任何坐标系中都相同。这就是说，如果特定的一步*r*在某个坐标系中用*x*，*y*，*z*表示，而在另一个坐标系中则用*x*′，*y*′，*z*′表示，那么，走过的距离*r*=｜*r*｜在两个坐标系中肯定会相同。于是有

$$r=\sqrt{x^2+y^2+z^2}\ ,$$

同样还有

$$r'=\sqrt{x'^2+y'^2+z'^2}\ .$$

因此，我们希望证明的是这两个量相等。不用为计算平方根而操心就更加方便，因此，我们来讨论距离的平方吧；这就要搞清楚下面的等式是否正确，

$$x^2+y^2+z^2=x'^2+y'^2+z'^2. \tag{1.17}$$

这个式子成立就最好不过了——如果我们将方程（1.5）代入上式，就发现结果确实是这样的。由此可见，还有另外一些类型的方程在任意两个坐标系中是正确的。

某些新的东西被卷进来了。我们可以造一个新的量，一个*x*，*y*和*z*的函数，称之为标量函数，这是一个没有方向，但在两个坐标系中相同的量。我们可以用一个矢量来造出一个标量。我们必须为此找到一个一般的规则。显然，对于刚才讨论的例子，所要的规则就是：把分量的平方加起来。我们现在来定义一个写成$\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{a}$的新的运算。这不是一个矢量，而是一个标量；它是一个在所有坐标系中都一样的数字，它被定义为矢量的三个分量的平方和：

$$\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{a}=a_x^2+a_y^2+a_z^2. \tag{1.18}$$

你也许会问，“可是用哪个坐标系去计算呢？”它与坐标系无关，答案在每个坐标系中都一样。于是，我们有了一类新的量，通过对一个矢量进行“平方”运算造出来的新的不变量或标量。如果我们现在用任意两个矢量a和b来定义下面这个量：

$$\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b}=a_xb_x+a_yb_y+a_zb_z\ . \tag{1.19}$$

就会发现，无论在带撇号的还是在不带撇号的坐标系中进行计算，这个量也都是一样的。为了证明这一点，我们要记住，***a·a***, ***b·b***和***c·c***都有这个结论，其中***c*=*a*+*b***。因此，平方和

$$(a_x+b_x)^2+(a_y+b_y)^2+(a_z+b_z)^2$$

并不改变：

$$(a_x+b_x)^2+(a_y+b_y)^2+(a_z+b_z)^2=$$

$$(a_{x'}+b_{x'})^2+(a_{y'}+b_{y'})^2+(a_{z'}+b_{z'})^2. \tag{1.20}$$

如果把这个方程的两边展开，就会出现方程（1.19）给出的那种交叉乘积项，以及*a*和*b*的分量的平方和。方程（1.18）那种形式的项的不变性就会使交叉乘积项（1.19）也不变。

a·b这个量叫做两个矢量***a***和***b***的标积，它具有许多有趣的和有用的性质。比如说，容易证明

$$\boldsymbol{a}\cdot(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c})=\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b}+\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{c}. \tag{1.21}$$

还有一种不需要计算***a***和***b***的分量就可以计算***a·b***的简单的几何方法：***a·b***等于***a***的长度与***b***的长度的乘积再乘它们之间的夹角的余弦。为什么会这样呢？假定我们选取一个特殊的坐标系，它的x轴沿着***a***的方向；在这种情况下，***a***的仅有的分量就是a_x，它自然就等于***a***的整个长度。这样，对于这个例子而言，方程（1.19）就简化成$\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b}=a_x b_x$，而这就是***a***的长度乘***b***在***a***方向的分量，即$b\cos\theta$：

$$\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b}=ab\cos\theta$$

因此，在上面这个特殊的坐标系中，我们已经证明了***a·b***等于***a***的长度乘***b***的长度再乘$\cos\theta$。可是，由于***a·b***与坐标系无关，因此，如果它在一个坐标系中成立，那么，在所有的坐标系中也成立；这就是我们的论证。

点乘有什么用处呢？在物理学中有哪些场合我们用得上它呢？当然有，我们随时都要用到它。比如说，在原先的《物理学讲义》的第一卷第四章中，动能被表示成$mv^2/2$，但是，如果物体在空间中运动，速度的平方就应该是在x方向、y方向和z方向的分量的平方和，因此，根据矢量分析法，动能的公式就是：

$$K.E.=\frac{1}{2}m\ (\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{v})=\frac{1}{2}m\ (v_x^2+v_y^2+v_z^2). \tag{1.22}$$

能量并没有方向。动量就有方向了，它是一个矢量，是质量乘速度矢量。

另一个点乘的例子是，当某个物体从一个地点被推向另一个地点时

力做的功。我们还没有给功下过定义，不过，它与能量发生改变和重物被提升具有同等的意义，当一个力$\boldsymbol{F}$作用了一段距离$\boldsymbol{s}$时：

$$功=\boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{s}.（1.23）$$

讨论一个矢量在某个方向（比如说竖直方向，那是万有引力的方向）上的分量有时是非常方便的。为了这样做，在我们想要研究的方向上引入一个所谓的单位矢量是很有用的。单位矢量是这样一个量，它与自身点乘等于1。就把这个单位矢量写成$\boldsymbol{i}$吧；于是$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=1$。于是，假如我们想求出某个矢量在$\boldsymbol{i}$方向上的分量，我们看到点乘$a\cdot\boldsymbol{i}$等于$a\cos\theta$，这就是$\boldsymbol{a}$在$\boldsymbol{i}$方向上的分量。这是一个求分量的极好的方法；事实上，这个方法能够使我们求出所有分量，并写出一个很有意思的公式。假定在一个给定的坐标系x, y和z中，我们引入三个矢量：一个沿x方向的单位矢量$\boldsymbol{i}$；一个沿y方向的单位矢量$\boldsymbol{j}$；一个沿z方向的单位矢量$\boldsymbol{k}$。首先记住$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=1$，但是$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}$等于什么呢？当两个矢量相互垂直时，它们的点乘等于0。于是

$$\begin{aligned}&\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=1\\&\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=0\quad \boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=1\\&\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{k}=0\quad \boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}=0\quad \boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}=1\end{aligned}\qquad（1.24）$$

利用上面的规定，无论什么矢量都可以写成下面的形式：

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}.\qquad（1.25）$$

利用这个方法就能够从一个矢量的分量求出这个矢量本身。

上述关于矢量的讨论并不完整。不过，与其现在设法更深入地研究这个问题，倒不如先学会把目前为止所讨论过的一些概念应用于实际领

域中。然后，当我们完全掌握了这个基本内容之后，就会发现，要更深刻地理解这个问题而又不被搞得手忙脚乱就容易得多了。稍后我们就会发现，定义两个矢量的另一种乘积是有用的，这种乘积叫做矢量积，写成$\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}$。不过，我们将在稍后的章节中再讨论这样的问题。



第二章
物理定律的对称性

2-1　对称操作

这一章的主题可以称为物理定律的对称性。我们已经在矢量分析（第一章）、相对论（接下来的第四章）和旋转问题（第二十章[5]）中讨论过物理定律的对称性的一些性质了。

我们为什么要关心对称性这个问题呢？首要的理由是，对称性对人类的心智具有迷人的魅力，每一个人都喜好具有某种对称性的物体或者图案。大自然常常在我们这个大千世界的事物身上展现出某种对称性，这是一个极为引人入胜的事实。能够想象出的最对称的物体也许就是一个球体了，大自然到处都是球形的物体——恒星、行星和云中的小水滴。在岩石中找到的晶体展现出各种不同类型的对称性，对它们的研究给予我们有关固体结构的一些重要知识。即使是动植物的世界也展现出某种程度的对称性，尽管一朵花的对称性或者一只蜜蜂的对称性并不如晶体的对称性那样完美或者重要。

不过，我们在这里主要关心的并不是“大自然中的事物常常是对称的”这样一个事实。恰恰相反，我们倒是宁愿考察一下宇宙中某些更值得注意的对称性——存在于支配物质世界运作的基本定律自身中的对称性。

首先要问，什么是对称性？一条物理定律怎么会是“对称的”呢？定义对称性是一件有趣的事情，我们已经说过，外尔对此下过一个很好的定义，这个定义的实质是说，如果我们能够对一件东西做某种事情，做完之后，这件东西看上去与原先一模一样，那么，就说这件东西是对称的。比如说，一个对称的花瓶就是这样的东西，如果我们使它反射或者旋转，它看上去将会与原先一模一样。我们在这里想要考虑的问题是，对自然现象或者实验中的实际情形，我们能够做些什么而保持结果不发

生变化。表2-1列出了使各种自然现象保持不变的已知的操作。

表**2-1**　对称操作

空间平移
时间平移
转过一个确定的角度
匀速直线运动（洛伦兹变换）
时间反演
空间反射
全同原子或者全同粒子的交换
量子力学的相位
物质–反物质（电荷共轭）

2-2　时空对称

我们可以试着去做的第一件事，比如说，就是对空间中的现象进行平移。假如我们在某个地方做一个实验，然后在空间中另一个地方建造另一套设备（或者把原来的设备搬过去），那么，只要安排好了相同的条件，并充分注意到前面提到的约束规则：即所有使机器不以相同方式运转的外部性质也都被移走，那么，在前一套设备中按照确定的时间顺序无论发生过什么事情，在后一套设备中都将以相同的方式出现。我们在前面讲过如何确定在上述情况下应该包括多少这样的因素，这里就不再深入地讨论这些细节了。

我们今天也同样相信，时间平移对物理定律没有任何影响。（这是

就我们目前所知而言——所有这些现象都是就我们目前所知而言的！）这就意味着，如果我们建造一套设备并在某个时刻，比如说在星期四早上10：00启动它，然后再造一套相同的设备，并在比如说3天之后在相同的条件下启动它，那么，无论在何时启动，这两套设备将以完全相同的时间依赖方式表现出相同的动作，当然，还是要规定，外界的有关性质也要及时地得到适当的修正。这种对称性自然就意味着，如果一个人在3个月以前买进通用汽车公司的股票，那么，发生在这些股票上的事情就如同他现在买进它一样！

我们还必须密切留意地理上的差异，原因自然是因为地球表面的性质变化多端。这样，举例来说，如果我们在某个地区测量磁场，然后将测量仪器搬到某个别的地区，那么，由于磁场不一样，测量仪器就有可能不会以完全相同的方式工作，不过，我们认为，这是因为磁场往往与地球有关的缘故。我们可以设想，如果把整个地球和测量仪器一起搬动，那么，仪器的测量操作就没有任何差异。

我们相当详细地讨论过的另一个问题是在空间中的旋转：如果我们把一套设备转过一个角度，并且将与其相关的其他所有因素也一起转动，那么，这套设备就会像未转动时一样运转。其实，我们在第一章中比较详细地讨论过在空间转动下的对称性问题，并且发明了一种叫做矢量分析的数学方法，以尽可能简洁地处理它。

在一个更高的层次上，我们有另一种对称性——匀速直线运动的对称性。这种极不寻常的效应认为，如果我们有一台用某种方式运转的设备，现在把这台设备放到一辆汽车上，并使汽车以及所有相关的外界条件以均匀的速度沿直线前进，那么，汽车内的现象就没有什么不一样的：所有的物理定律看起来一模一样。我们甚至知道该如何用专门的方式表达这一点，那就是，反映物理定律的数学方程在洛伦兹变换下必定不变。事实上，正是对有关相对论问题的研究，使物理学家将注意力集

中到物理定律的对称性这个问题上来。

上面所谈到的对称性全都具有几何学的性质，时间和空间多少有点相似，不过，还有另外一种不同类型的对称性。比如说，有一种对称性描述了这样的事实：一个原子能够用同类的另一个原子替换；换句话说，存在着同一种类的原子。有可能找到这样的原子集团，如果我们把其中的一对原子互换，那么不会造成任何差异——这些原子都是一模一样的。在某种类型的氧原子中，无论一个原子有什么行为，这类氧原子中的另一个原子也会有同样的行为。有人会说，“真是荒唐，这正是同一种类的定义！”这可能只是一个定义，但是我们还是不知道是否存在任何“相同类型的原子”；事实是存在许许多多相同类型的原子。因此，当我们说“用同一类型的一个原子替换另一个原子不会带来任何差异”这句话时，确实是有意义的。构成原子的那些所谓基本粒子，在上述意义下也是全同粒子——所有的电子都是相同的；所有的质子都是相同的；所有带正电荷的介子都是相同的；如此等等。

在列出了这么多使物理现象不改变的操作之后，有人可能以为，实际上我们可以做任何事情了；那就让我们举一些反例，以便看到出现有差异的情况。假设我们提出这样一个问题：“物理定律在尺度变换下是对称的吗？”设想我们先造一台设备，然后再造另一台每个部件都大5倍的设备，这两台设备会以完全相同的方式工作吗？在这种情况下，答案是，不会！比如说，由一箱钠原子发出的光的波长与由5倍体积的钠气发出的光的波长相比，后者就不是前者的5倍，而是完全相等。因此，波长与发射体的尺度之比就会改变。

另一个例子是：在报纸上，我们有时会看到一座用小火柴棍搭成的大教堂的照片——由一些退休人员用火柴棍黏成的惊人的艺术品。它比任何真实的大教堂更精巧、更奇特。如果我们想象这个木制的大教堂真的按实际尺寸建起来，就会看到麻烦出在哪里了：它不会存在下去——

整座教堂都会倒塌，原因就在于放大了的火柴棍强度完全不够。“是的，”可能有人会说，“但是，我们也知道，当存在一种来自外界的影响时，它也必定按比例改变！”这里谈论的是物体承受万有引力的能力。因此，我们首先要有真实的火柴棍造的大教堂模型和真实的地球，我们知道它是稳固的。然后，我们就该有更大的大教堂和更大的地球。可是，这样的话情况甚至更糟，因为万有引力增加得更快！

当然，我们今天是根据自然界中的物质由原子构成这一点来理解现象依赖于尺度这个事实的，显然，如果我们建造一台小到里面只有5个原子的仪器，那么，它肯定是一件我们不能任意放大和缩小的东西。单个原子的尺度根本不是任意的，而是完全确定的。

物理定律在尺度变换下并非不变这个事实是伽利略发现的。他认识到材料的强度与它们的大小并非恰好成正比关系，并且画了两根骨头来说明我们刚才在火柴棍大教堂的问题中讨论过的性质，在他画的图中，一根是按支撑体重的适当比例画出的狗的骨头，一根是假想的，比方说大10倍或100倍的“超级狗”的骨头——这根骨头是一个按完全不同的比例画出的结实的庞然大物。我们不知道他是否曾经用这个论据得出过这样一个结论：自然定律必定具有明确的尺度，不过，他把这个发现与运动定律一起写进了叫做《关于两种新科学的对话》这本书中，由此可见这个发现给他的印象是如此深刻，以至他把两者看得同样重要。

另一个我们了解得相当清楚的物理定律并不对称的例子是：一个以匀角速度旋转的系统，其中的表观定律与一个不旋转的系统中的定律并不相同。假如我们安排一个实验，然后把所有的东西都搬到一艘宇宙飞船中，并让飞船在宇宙空间中始终以不变的角速度自转，那么，上面的仪器就不会按原来的样子工作，因为我们知道，仪器内部的零件会由于离心力或者科里奥利力等原因被抛向飞船的外侧，如此等等。事实上，我们不需要往外看，只要利用一个叫做傅科摆的仪器就能够觉察到地球

正在旋转。

下面我们讲一个非常有趣却明显错误的对称性，即时间上的可逆性。物理定律在时间上显然是不可逆的，因为我们知道，所有显而易见的现象在大尺度上都是不可逆的：“大笔一挥，江山写就，意犹未尽。”就目前为止我们的认识而言，这种不可逆性起因于大量粒子的参与，如果我们可以看见单个分子，就无法分清机器到底是朝时间的正方向还是反方向运转。说得更准确点就是：造一台小小的仪器，我们知道其中所有原子的行为，能够看见它们在左摇右晃地运动。现在我们造另一台与之相似的仪器，它在前者的终态条件下开始工作，但所有的速度正好相反。那么，这台仪器将经历相同的但却完全反向的运动。换句话说：如果我们拍一部电影，足够详细地拍下一块材料的所有内部运作，然后放映到屏幕上，还要倒着放，那么，没有一个物理学家能够说，“这是违反物理定律的，这里面有些地方搞错了！”当然，如果我们不去观察所有的细节，情况就是完全清楚的。如果我们看见鸡蛋掉在人行道上，蛋壳破裂，如此等等，就肯定会说，“这是不可逆的，因为如果我们把电影倒着放，破碎的鸡蛋就会聚集起来，蛋壳就会拼回原样，这显然是荒谬的！”不过，如果我们观察单个原子本身，定律看起来就完全是可逆的。当然，要发现这一点就难得多了，不过，很明显，在微观的和基本的层级上，基本物理定律在时间上确实是完全可逆的。

2-3　对称性与守恒定律

在目前这个层次上，物理定律的对称性是非常吸引人的，不过，最终发现，当我们转到量子力学时，这种对称性变得更加引人入胜和令人激动。在量子力学中，由于某种我们无法在目前的水平上理解的原因，每一种对称规则都有一条守恒定律与之相对应；在守恒定律和物理定律的对称性之间存在着确定的关系——这是一个令绝大多数物理学家至今仍然感到有点难以置信的事实，是一件最深刻和最优美的事物。目前我

们只能做这样的说明，不打算做任何解释。

举个例子吧，当与量子力学的原理相结合时，物理定律在空间平移下是对称的这个事实意味着动量守恒。

在量子力学中，物理定律在时间平移下是对称的则意味着能量守恒。

在空间中转过一个确定的角度时的不变性对应于角动量守恒。这些联系是非常有趣和非常优美的，在物理学领域属于最优美和最深刻的思想之列。

顺便提一下，在量子力学中出现的不少对称性并没有经典类比，在经典物理学中，没有任何描述它们的方法。其中之一就是：假如ψ是某个过程的概率振幅，那么，我们就会知道，ψ的绝对值的平方就是这个过程发生的概率。好，如果另外有人在进行计算时打算不用这个ψ，而是用一个不同的ψ'，它只是改变了相位（令Δ是某个常数，并用$e^{i\Delta}$乘原来的ψ），那么，ψ'的绝对值的平方，即事件的概率，就等于ψ的绝对值的平方：

$$\psi' = \psi e^{i\Delta};\ |\psi'|^2 = |\psi|^2 \qquad (2.1)$$

因此，如果波函数的相位改变任意一个常数，物理定律是不变的。这是另一种对称性。物理定律必定具有这种性质，即量子力学相位的改变不会引起任何差异。正如我们刚刚提到的，在量子力学中，对应于每一种对称性，都存在一个守恒定律。与量子力学相位相联系的守恒定律看来就是电荷守恒。总而言之，这是非常引人入胜的事情！

2-4　镜像反射

现在讨论下一个问题，即在空间反射下的对称性问题，这个问题将与本章其余大部分内容有关。问题是这样的：物理定律在反射操作下是对称的吗？我们也可以这样问：假如我们造了一台设备，比如说一个带有许多齿轮、指针和数字的时钟；它滴答滴答地走着、工作着，在它的内部有一些绷得紧紧的发条。我们在镜子中来看这个时钟。在镜子中它看起来像个什么样子无关紧要。但是，让我们实实在在地造另一个时钟吧，它与上面那个时钟在镜子中的模样完全相同——每当在原来那个时钟内有一个右旋螺纹的螺丝，我们就在镜像时钟内对应的位置安装一个左旋螺纹的螺丝；在原来的时钟钟面上标有“2”的位置，我们就在镜像时钟的钟面上标上“”这个标记；每一卷发条在原来的时钟内以一种方式缠绕，在镜像时钟内则以另一种方式缠绕；当我们把这一切做完时，我们就有了两个都是用实物做的时钟，尽管我们强调它们都是实际存在的、用真实的材料做成的时钟，但是，它们却按照一个物体与其镜像之间的关系相互映射。现在的问题是：如果两个时钟在相同的条件下（即发条上得一样紧）开始计时，那么，这两个时钟会不会滴答滴答地一直走下去，就像一对精确的镜像那样呢？（这是一个物理学问题而不是一个哲学问题。）我们对物理定律的直觉认为，它们会这样。

我们可能会觉得，至少就这些时钟而言，空间反射是物理定律的一种对称性，如果我们把每一样东西都从“左”变到“右”，而其他方面则保持不变，我们就无法判断变化前后的差别。接下来让我们暂时假设这是对的。如果确实是这样，那么，就不可能通过任何物理现象区分“左”和“右”，这正如，不可能通过某种物理现象确定某个绝对速度一样。因此，不可能通过任何物理现象绝对地确定所谓与“左”相对的“右”指的是什么，因为物理定律应该是对称的。

当然，这个世界并非一定是对称的。举例来说，利用所谓的“地理学”，“右”肯定能够被确定下来。例如，我们站在新奥尔良朝芝加哥看去，佛罗里达就在我们的右边（只要我们站在地面上！）。因此，我们

能够利用地理学来确定“左”和“右”。当然，在任何系统中，实际状况并非一定具有我们正在谈论的对称性；这里谈到的问题是，定律是否是对称的——换句话说，如果有一个像地球一样的天体，构成它的尘土都是“左”旋的，而且有一个像我们一样的家伙正站在一个像新奥尔良那样的地方往像芝加哥那样的城市看去，但是由于所有的东西都反了过来，因此，佛罗里达就在另一边了，这种情况是否违反物理定律呢？显然，使每一件东西都左右互换看来并非不可能，这并不违反物理定律。

另外一个要点是，我们对“右”的定义不应该依赖于历史事件。区分左和右的一个简易办法就是跑到机械零件商店去随便捡一颗螺丝。多数会拿到具有右旋螺纹的——未必一定是右旋的，不过，拿到右旋螺纹的机会比拿到左旋螺纹的机会大得多。这是一个历史遗留下来的或者叫做习俗的问题，或者是偶然得到的结果，并不是一个基本定律的问题。我们清楚地意识到，人人都能够着手制造左旋螺纹的螺丝！

因此，我们必须想办法找到一些从根本上说包含“右旋”的现象。我们讨论的下一个可能性是偏振光通过，比如说，通过糖水时其偏振面发生旋转这个事实。正如我们在第33章[6]中看到的那样，在某种糖溶液中偏振面会，比如说，向右旋转。这就是一个定义“右旋”的方法，因为我们可以把一些糖溶解在水里，就使偏振面转向右边。不过，糖来自生物体，如果我们尝试人工合成糖，就会发现它并不会令偏振面旋转！但是，如果我们接着在同样这些不会令偏振面旋转的人造糖中放进一些细菌（它们吃掉一些糖），然后滤去细菌，就会发现仍然留下一些（几乎是原来的一半那么多）糖，这一次它确实使偏振面旋转了，但却向相反的方向旋转！这看起来极其令人费解，不过却很容易加以解释。

再举一个例子：所有生物体都含有的物质之一是蛋白质，它对生命来说是非常重要的。蛋白质由氨基酸链构成。图2-1显示出一种由蛋白质产生出来的氨基酸的模型。这种氨基酸叫做丙氨酸，如果它是由真实

的生物体内的蛋白质产生的，那么，分子的排列就会像图2-1（a）中看起来那样。另一方面，如果我们试图用二氧化碳，乙烷和氨合成丙氨酸（我们能够把它合成出来，它并不是一个复杂的分子），那么就会发现，我们正在合成数量相等的两种分子，一种如上所述，另一种如图2-1（b）所示！第一种分子，即来自生物体内的分子叫做L-丙氨酸。另一种分子，因为具有同种类的原子和原子间的关联，因此其化学成分一模一样，与“左旋的”L-丙氨酸相比，是一种“右旋的”分子，叫做D-丙氨酸。有趣的是，当我们在实验室中用简单的气体合成丙氨酸时，就得到两类丙氨酸分子的等量混合物。然而，生物体只利用L-丙氨酸（这并不完全正确。D-丙氨酸在生物体内各处都有一些特别的用途，但非常罕见。所有蛋白质都只利用L-丙氨酸）。现在，如果我们把两种丙氨酸都合成出来，并用这种混合物喂养某些喜欢“吃”，或者叫做消耗丙氨酸的动物，由于动物不能利用D-丙氨酸，因此，它就只利用L-丙氨酸；这就是在我们的糖中出现的事情——细菌吃了对它们有用的糖之后，只有那些“不合用的”分子被保留下来！（左旋糖是甜的，但右旋糖的味道就不一样了。）

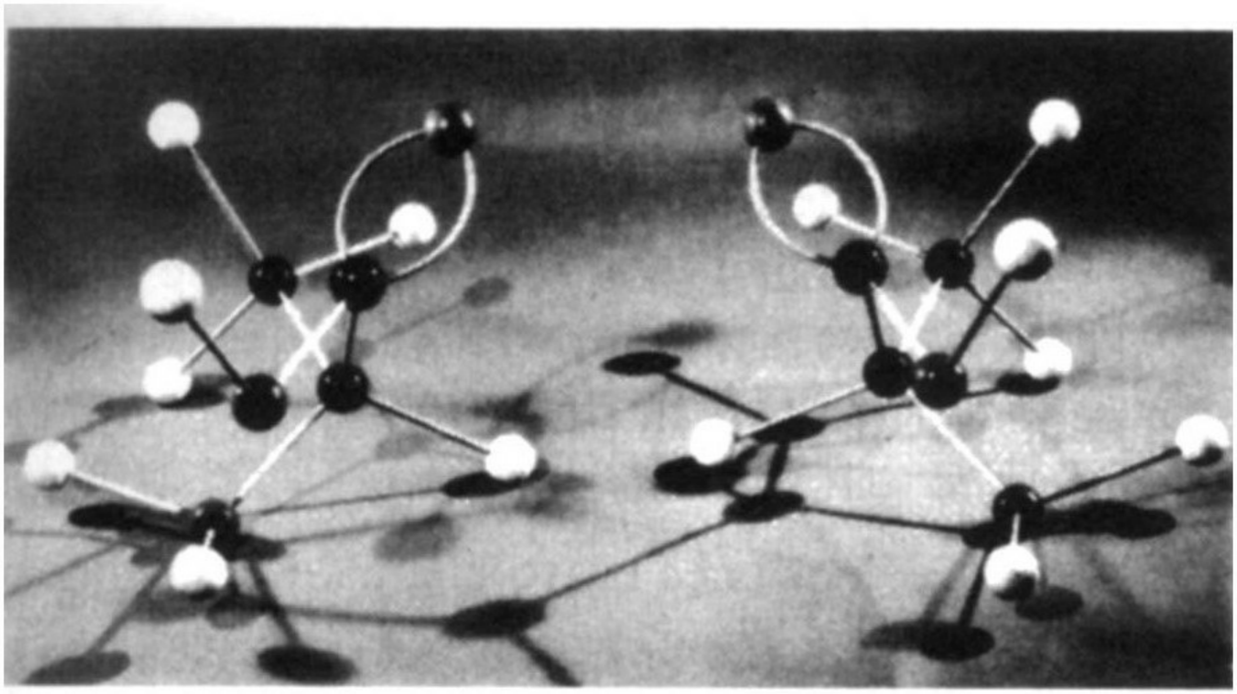


图2-1（a）L-丙氨酸（左），（b）D-丙氨酸（右）

这样看来，生命现象似乎能够区分“左”和“右”，或者化学也能够这样做，原因就是，两种分子在化学上并不相同。可是，实际上并非如此！就所能够进行的物理测量来说，比如说能量、化学反应率等，如果我们让其他因素也做镜像反射，那么，两种分子就会起完全相同的作用。一种分子会使光往右旋，而另一种分子，当光通过相同数量的液体时，会使其左旋完全相同的角度。因此，就物理学而言，这两种氨基酸同样符合要求。就我们今天对事物的理解来说，薛定谔方程的基本原理表明，两种分子应该表现出完全对应的行为方式，因此，一种分子起左旋的作用，而另一种分子则起右旋的作用。尽管如此，在生物体内却只有一种方式起作用！

人们推测，之所以这样有以下几方面的原因。比方说，设想由于某种原因，在某一时刻生命处于这样一种状态下，某些生物体内所有蛋白质都含有左旋氨基酸，而所有酶都是有倾向性的——生物体内每一种物质都是有倾向性的——也就是不对称的。这样，当消化酶要将食物中的

化合物从一种物质变成另一种物质时，其中的一类化合物与酶“相配”，而另一类就不相配（就像灰姑娘和她的水晶鞋一样，只不过我们在试穿的是一只“左脚”鞋）。就我们的认识而言，比如说，原则上我们可以培育出这样一只青蛙，其中所有分子都被翻了过来，所有东西都像一只真实的青蛙的“左旋”镜像一样；我们培育出了一只左旋蛙。这只左旋蛙有一阵子会过得很好，但是，它会发现找不到东西吃，因为如果它吞下一只苍蝇，它产生的酶无法去消化它。组成苍蝇的是“不合用的”一类氨基酸（除非我们给它一只左旋蝇）。就我们目前所知，如果所有东西都翻过来的话，化学过程和生命过程将照样进行下去。

如果生命完全是一种物理的和化学的现象，那么，蛋白质全都由相同螺旋性的分子组成这个事实就只有这样来理解：在开天辟地之时，由于偶然的因素而出现了某些生命分子，其中有一些得到繁衍。在某个地方，有一次一个有机分子带有一定的倾向性，从这次特殊的事件开始，“右旋”碰巧在我们这个特殊的地理环境下发展起来；一件特殊的、偶然的历史事件是有倾向性的，可是从那时起，这种倾向性本身就传播开来。当然，一旦演化到了现在的状态，它就将会持续下去——所有的酶都消化和生产右旋的东西：当二氧化碳和水蒸气等物质进入植物的叶子时，造糖的酶使它们出现倾向性，因为酶是有倾向性的。如果任何新的病毒或者生物种类要在稍后时出现，那么，它只有“吃”现存的生命物质才能存活下去。因此，它也就必须是同一类的生物。

不存在右旋分子的数目守恒这回事。右旋分子一旦出现了，其数目就会持续不断地增加。人们由此推测，生命现象并不表明物理定律中缺乏对称性，恰恰相反，在上述含义下，它确实显示出地球上一切生命的根本来源的共同性。

2-5　极矢量和轴矢量

下面做进一步的讨论。我们注意到，物理学领域在许多其他场合下都有“左手法则”和“右手法则”。事实上，当我们学习矢量分析的知识时，就学习过为了正确地表示角动量、力矩、磁场等物理量而必须使用的右手法则。例如，一个在磁场中运动的电荷所受到的力是$\boldsymbol{F}=qv\times\boldsymbol{B}$。在已知$\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{v}$和^{B}的情况下，这个公式是否足以确定右手性呢？事实上，如果我们回过头来看一看矢量的来由，就会发现“右手法则”只不过是一种约定，是一种巧妙的方法。角动量和角速度以及前面所讲到的诸如此类的物理量根本就不是真正的矢量！它们全都以某种方式与某个平面相关，只是因为空间有三维，才使我们能够将这种量与垂直于那个平面的一个方向联系起来。在两个可能的方向中，我们选择了“右旋”的方向。

因此，假如物理定律是对称的，我们就会发现，如果有一个精灵偷偷地溜进所有的物理实验室，并在每一本讲到“右手定则”的书中将“右”字改为“左”字，以至我们全都统一使用“左手定则”，那么，将不会给物理定律带来任何差异。

我们来做一些说明。存在两类矢量，有一类是“真正的”矢量，比如空间中的位移$\Delta\boldsymbol{r}$。如果在我们的仪器中这里有一个零件，那里有另一件别的东西，那么，在一个镜像仪器中就会有这个零件的像和另一件东西的像，如果我们从这个“零件”向“另一件东西”画一个矢量，那么，一个矢量就是另一个矢量的镜像（图2-2）。矢量的箭头改变了方向，就好像整个空间翻转过来一样；我们把一个这样的矢量叫做极矢量。



图2-2　空间中的位移和它的镜像

但是，另一类与旋转有关的矢量具有不同的性质。例如，设想在三维空间中某个物体如图2-3所示那样旋转。如果我们在一面镜子中看它，那么，它就会如图所示那样旋转，即像原来旋转的镜像那样旋转。现在，我们约定用相同的规则表示镜像旋转，它是一个“矢量”，在空间反射下并不像极矢量那样改变，而是相对于极矢量和空间的几何关系而言在方向上被颠倒过来；一个这样的矢量叫做轴矢量。

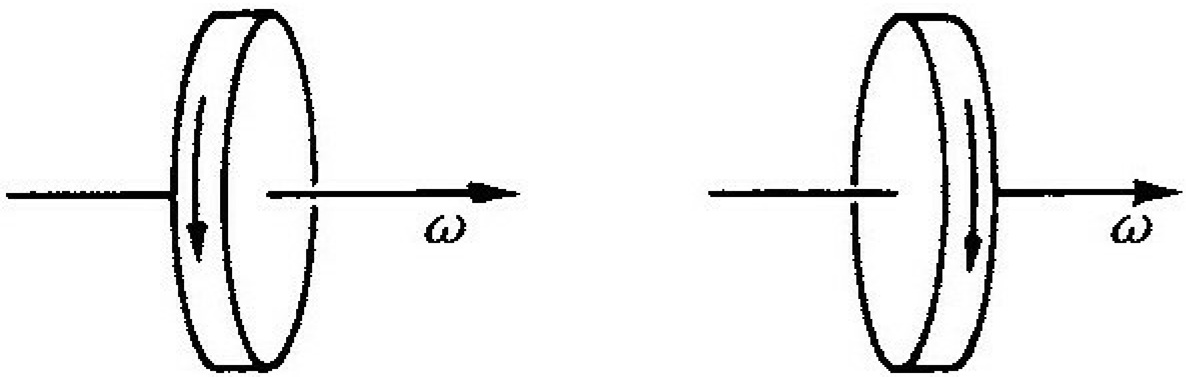


图2-3　一个转轮和它的镜像，注意角速度“矢量”在方向上没有被颠倒

好，如果反射对称定律在物理学中是正确的，那么，物理方程就必须是这样设计出来的：如果我们将每一个轴矢量和矢量的每一个叉乘的正负号改变（这与反射相对应），就不应该有任何差别。举例来说，当我们写下一个表示角动量$\boldsymbol{L}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{p}$的公式时，这个公式就是完全正确的，原因就是，如果我们变换到左手坐标系，就改变了$\boldsymbol{L}$的正负号，而$\boldsymbol{p}$和$\boldsymbol{r}$却不改变；由于我们必须将右手定则换成左手定则，所以，叉乘的正负号就要改变。再举另一个例子，我们知道，作用于一个在磁场中运动的电荷上的力是$\boldsymbol{F}=q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$，但是，如果我们从右手系变成左手系，由于已知$\boldsymbol{F}$和$\boldsymbol{v}$是极矢量，因此，由叉乘引起的变号必须被$\boldsymbol{B}$的变号抵消，这就意味着$\boldsymbol{B}$必须是一个轴矢量。换句话说，如果我们进行这样一个反射，$\boldsymbol{B}$必定变成$-\boldsymbol{B}$。因此，如果我们将坐标系从右手系变成左手系，也必定把磁极从南极变成北极。

我们用一个例子来说明这种情况吧。设想我们有两块磁铁，如图2-4所示。一块磁铁上的线圈朝某个方向缠绕，电流沿着某个方向流过线圈。另一块磁铁看上去就像是第一块磁铁在一面镜子中的映像一样——线圈将朝另一个方向缠绕，发生在线圈中的所有现象完全被颠倒过来，电流的走向如图所示。好，利用产生磁场的定律（我们还未正式讨论过这一点，不过很有可能在中学里学过）求出的磁场如图所示。如果一块磁铁的某个磁极是南磁极，那么，在另一块磁铁上，电流沿着另一个方向流过，磁场被颠倒过来，对应的磁极就是北磁极。于是我们看到，当我们从右旋变为左旋时，确实把北磁极与南磁极互换了！

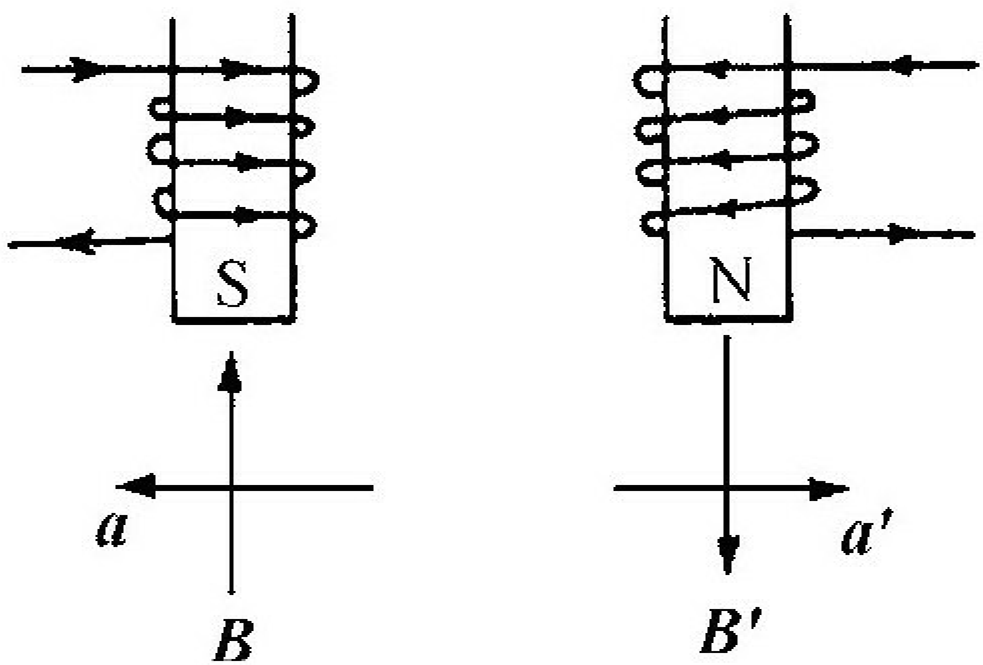


图2-4　一块磁铁和它的镜像

不必介意南北磁极的改变；这些也只是约定而已。让我们来谈谈现象吧。假定现在有一个在磁场中运动的电子进入纸面上。于是，如果我们利用公式$q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$（记住电荷是负的）求电子的受力，就会发现电子将朝着物理定律指定的方向偏转。因此，我们看到的现象就是，在一个线圈内朝指定的方向流过电流，一个电子以某种方式弯曲——这就是物理学的内容——它不管我们如何标记每件事物。

现在，我们用一面镜子做同样的实验：我们朝对应的方向发射一个电子，这时，力的方向颠倒过来，如果我们用相同的规则做计算的话，那么，由于对应的运动是镜像运动，因此，得到的结果完全正确！

2-6　到底哪一只是右手

这样看来，实际的情况是，在研究任何现象时总是有两种或者偶数种正确的手性规则，而最终的结果是，现象看起来总是对称的。因此，简而言之，倘若我们连南极和北极都分辨不出，也就无从分辨左手和右手。可是，表面上看我们能够辨认出磁铁的北极。比如说，指南针的北极是指向北方的一根指针。不过，这当然也是一种局部的性质，它必须根据地球上某一地区的自然特征做出判断；这只不过就像谈论芝加哥在哪个方向一样，是不算数的。如果我们见过指南针，就可能会注意到指向北极的指针是浅蓝色的。可是，这只不过是人们涂到磁铁上的颜色。这些性质全都是局部性的、人为约定的判断准则。

然而，假如一块磁铁真的具有这样一种性质，当我们足够近地观察它时，就会看到细小的绒毛在它的北磁极上而不是在南磁极上长出来，如果这是一般的规则，或者如果存在任何惟一的方法可以把北磁极和南磁极区分开，那么，我们就可以辨别出两种情形中我们实际上看到的是哪一种，而这将会是反射对称律的终结。

为了更清楚些说明整个问题，设想我们正在与一个火星人或者某个离得非常非常远的人通过电话交谈。我们不能向他发送任何用作检验的实际的样品；比如说，如果我们可以传送光信号，就可以向他发送右旋圆偏振光，并且对他说，“这是右旋光——只要检查一下它的旋转方向就知道了。”可是，我们不能向他发送任何东西，只能与他交谈。他离得很远，或者在某个奇怪的地方，看不到任何我们能够看到的东西。比如说，我们不能说，“看一看大熊星座；好，留意那些星星是怎样排列

的。我们所指的‘右’是……”我们只能通过电话与他交谈。

现在，我们想要把有关我们的一切都告诉他。当然，我们首先从定义数字开始，于是这样说，“滴答，滴答，2，滴答，滴答，滴答，3，……”这样，他逐渐地能够理解一些单词了，就这样做下去。过了一会儿，我们就有可能变得跟这个家伙非常熟了，接着他就会说，“你们这些家伙长了个什么模样呢？”我们就开始描述自己了，对他说，“噢，我们有6英尺（1英尺约为0.3048米）高。”他说，“等一下，6英尺是什么意思？”有可能告诉他6英尺是什么意思吗？当然有可能！我们对他说，“你知道氢原子的直径吧，我们有17000000000个氢原子那么高！”之所以能够这样说，原因就是物理定律在尺度变换下是不变的，因此，我们能够定义一个绝对长度。我们就这样说明了身体的大小，并告诉他体型大致上如何——我们的身体有一些像丫叉一样的东西，丫叉的末端伸出5个突出来的玩意儿，如此等等，他顺着我们的描述进行想象，我们就这样描述完了我们的外表长得怎样，这大概不会遇到任何特别的困难。在我们描述自己的过程中，他甚至做出一个我们的外形的模型来。他说，“哎呀，你们一定是非常英俊的家伙；那么身体里头有什么呢？”于是我们开始描述身体里头的各种器官，我们说到心脏，我们仔细地描述了它的形状，对他说，“好，把心脏放在左边。”他说，“嗯……左边？”我们现在的问题就是，要向他描述心脏在哪一边，而他则看不到任何我们所看到的东西，我们也不向他发送任何说明“右”是什么的样品——没有任何标准的右旋物体。我们做得到吗？

2-7　宇称不守恒了

研究结果表明，万有引力定律、电磁定律、核力都满足反射对称原理，因此，这些定律，或者由它们导出的任何结论都派不上用场。不过，有一种现象，它与自然界中发现的许多粒子有关，叫做β衰变，或者叫做弱衰变。弱衰变的其中一个例子与1954年前后发现的一种粒子有

关，它引出了一个不可思议的难解之谜。有一种按图2-5所示那样衰变成3个π介子的带电粒子。这种粒子有一阵子曾经被叫做τ介子。我们在图2-5中还看到另一种粒子，它衰变成2个介子；由电荷守恒可知，其中一个必定是电中性的。这种粒子叫做θ介子。这样，第一，我们有一种叫做τ介子的粒子，它衰变成3个π介子，还有一种叫做θ介子的粒子，它衰变成2个π介子。过了没多久就发现，τ介子和θ介子的质量几乎相等；事实上，在实验的误差范围内，它们是相等的。其次，人们发现，它们衰变成3个π介子和2个π介子所需要的时间间隔几乎完全相等，即它们具有相同的寿命。还有，无论什么时候产生这两种粒子，它们都会按相同的比例诞生，即14%的τ介子和86%的θ介子。

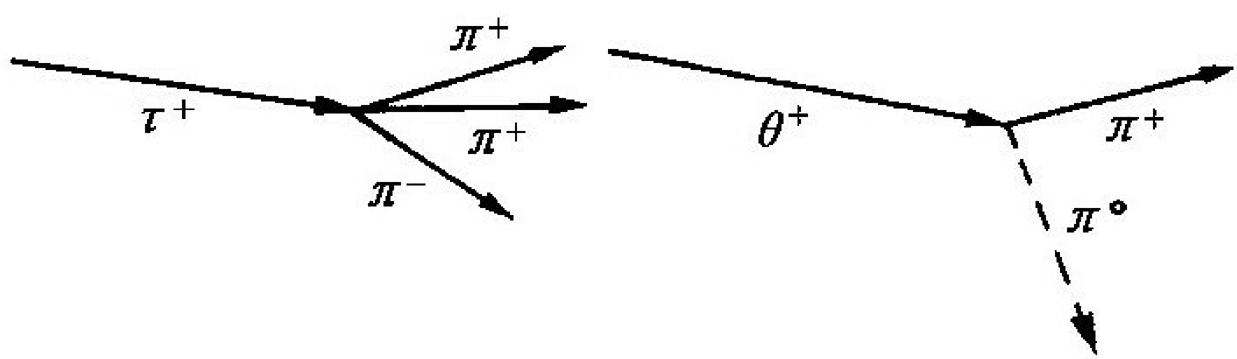


图2-5　τ^+和θ^+粒子衰变的示意图

任何大脑清晰的人立刻就会意识到，它们必定是同一种粒子，我们只是产生出了一种具有两种不同的衰变方式的粒子——不是两种不同的粒子。这种能够按两种不同方式衰变的粒子因此就具有相同的寿命和相同的产出比例（因为这就是衰变成这两种类型的机会之比）。

然而，利用量子力学中的镜像对称原理可以证明（我们在这里完全无法解释如何证明），让这两种状态都来自同一种粒子是不可能的——同一种粒子不可能按这样两种方式衰变。与镜像对称原理对应的守恒定律是没有经典类比的，于是，就把这种量子力学的守恒叫做宇称守恒。因此，正是宇称守恒的结果，或者更精确地讲，由于在镜像变换下弱衰

变的量子力学方程的对称性，使得同一种粒子不可能衰变到两种状态，看来，这必定是质量、寿命等因素的某种巧合。但是，对这个现象研究得越深入，这种巧合就越显著，怀疑的看法逐渐地出现了，自然界的镜像对称性这条深刻的定律可能是不正确的。

由于这种显而易见的失效，为了检验这个定律在别的情况下是否正确，物理学家李政道和杨振宁建议做一些与这个衰变有关的其他实验。第一个这样的实验由哥伦比亚大学的吴健雄女士做出来了，实验是这样做的：我们知道，钴有一种通过发射一个电子而衰变的同位素，它在极低温度下的极强磁场中具有磁性，如果温度足够低，以至热振动不会使原子的磁场抖动得太厉害，它们就会顺着磁场排列起来。因此，所有的钴原子就在这个强磁场中排成一行。随后，它们就要发射一个电子而衰变，实验发现，当原子排列在一个B矢量朝上的磁场中时，大部分电子向下方发射。

如果一个人并不是真正“熟悉”这个世界，上面所谈到的现象似乎没有任何意义，但是，如果我们懂得世界上的问题以及各种有趣的事情，那么就会看到，这是一项最引人注目的发现：当我们把钴原子放在一个极强的磁场中时，在衰变出来的电子中，向下运动的比向上运动的多。因此，如果我们在“镜像”中做一个相应的实验，在这个实验中钴原子会朝着相反的方向排成一行，那么，它们就会向上而不是向下发射电子；实验中显示出的行为是不对称的。磁铁长出了细小的绒毛！磁铁的南极就是这样一个磁极，它令β衰变中产生的电子倾向于远离它；这就在物理上把北极与南极区分开来了。

在这之后，人们做了许多其他实验：π衰变成μ和υ；μ衰变成一个电子加上两个中微子；近年来做的Λ衰变成质子和π的实验；Σ粒子的衰变；以及许多其他的衰变实验。事实上，在几乎所有可预计的情形中，人们都发现，实验不遵从镜像对称性！从根本上说，在物理学的这一个

层次上，镜像对称律并不适用。

简而言之，我们能够告诉火星人该把心脏放在哪一边，我们对他说，“听好了，你自己做一块磁铁，并把线圈套进去，再通上电流，然后取一些钴并把温度降低。把实验安排成这样，使得电子从脚部向头部运动，这样，电流通过线圈运动的方向就是这样一个方向，从我们所说的右边流入而从左边流出。”因此，现在通过做一个这种类型的实验就有可能确定左和右了。

人们还预言过许多其他的特性。比如说，实验结果表明，钴核的自旋，即角动量在衰变前是5个$\hbar$单位，而在衰变后是4个$\hbar$单位。电子带有自旋角动量，衰变还产生一个中微子。从这里很容易看出，电子必定带有指向其运动方向的自旋角动量，中微子也一样。因此，看起来电子好像是左旋的，而这也得到了证实。事实上，电子大都向左旋转这个结论就是在加州理工学院这里由玻姆（Boehm）和韦帕斯特拉（Wapstra）证实的。（还有另外一些实验给出了相反的答案，但是那些实验都做错了！）

下一个问题自然就是要找出宇称守恒失效的规律。有什么规则使我们知道这种失效的程度有多大呢？这条规则是，失效只在那些非常慢的，叫做弱衰变的相互作用中发生，而当这种情况出现时，这条规则表明，像电子、中微子这样具有自旋的粒子倾向于按左旋的状态被发射出来。这是一条带有倾向性的规则；它把速度这个极矢量和角动量这个轴矢量联系起来，并且认为角动量方向逆着速度方向的可能性比顺着速度方向的可能性大。

好了，这条规则就是这样了，不过，如今我们并没有真的弄明白这条规则的来由。为什么这条规则是正确的，它的基本因由是什么，还有，它如何与别的事情联系起来？对上述事件是非对称的这个事实，我们感到如此震撼，以至于此刻还未能从这种震撼中充分恢复过来，去理

解这个规则对其他所有的规则有何意义。然而，这个问题是引人入胜的，是新颖的、仍未解决的，因此，讨论与之相关的一些问题看来是合适的。

2-8　反物质

当其中一种对称性失效时，首先要做的事情就是立刻回过头去查一下已知的或者想当然的对称性清单，看看是否还会失去任何别的对称性。在我们的这张清单上，有一种操作还没有提到，这就是物质与反物质之间的关系，它也必须受到质疑。狄拉克曾经预言，除了电子之外，一定还有另外一种叫做正电子的粒子，它必然与电子有关（由安德森在加州理工学院发现）。这两种粒子的所有性质服从确切的对应规则：能量相等；质量相等；电荷反号；不过，有一条规则比任何别的规则都重要，这就是，当一对这样的粒子凑在一起时，就会相互湮没，并把它们的全部质量以能量的形式（比如说γ射线）释放出来。正电子是电子的一种反粒子，这些就是粒子和它的反粒子的特性。由狄拉克的论据清楚地知道，宇宙中所有别的粒子也应该有对应的反粒子。比如说，对应于质子应该有一个反质子，用$\bar{p}$标记这个粒子。$\bar{p}$应该带有负电荷，而且，质量与一个质子的质量相同，如此等等。然而，最重要的性质是，一个质子和一个反质子凑在一起时会相互湮没。我们强调这一点的理由是，当我们说存在一个中子，还存在一个反中子这句话时，人们并不理解是什么意思，因为他们会说，“一个中子是中性的，这样，它怎么可能带有相反的电荷呢？”在这里，“反”字体现的规则并非只是指它带有相反的电荷，而是指它具有一组性质，这组性质全部相反。反中子与中子是按照这样的方式被区别开来的：如果我们把两个中子放在一起，它们只是作为两个中子而存在，可是，如果我们把一个中子和一个反中子放在一起，它们就会相互湮没，形成巨大的爆炸而释放出能量，发射出各种π介子、γ射线以及各种稀奇古怪的粒子。

好，假如我们有了反中子、反质子和正电子，原则上就能够造出反原子。它们还未被造出来，但原则上是可能的。例如，一个氢原子在中心处有一个质子，一个电子在外围旋转。现在设想我们在某个地方能够造出一个反质子，让正电子绕着它旋转，它会绕着转吗？唔，首先，反质子带负电，而正电子带正电，因此，它们按对应的方式相互吸引——正反粒子质量完全相等；所有事情都相同。这是物理学中的对称性原理之一，物理方程似乎显示，假如一方面有一个时钟，比如说，用物质做成，另一方面我们造一个相同的反物质时钟，那么，它就应该按上面所说的对应方式运转（当然，如果我们把两个时钟放在一起，它们就会相互湮没，但这是另一回事了）。

这一来就出现了一个问题。我们能够用物质做两个时钟，一个是“左旋的”，一个是“右旋的”。比如说，我们可以做这样一个时钟，它不是用简单的方法做的，而是用钴和磁铁以及电子探测器做成，这个探测器是用来探测β衰变电子的存在并对其进行计数的。每数到一个电子，秒针就跳一格。于是，镜像时钟由于接收到较少电子，就不会以相同的速率走动。因此，我们显然能够做出两个时钟，使左旋钟与右旋钟快慢不同。让我们用物质来做一个时钟吧，把这个钟叫做标准钟或者右旋钟。然后，让我们还是用物质来做一个左旋钟吧。我们刚才就已经发现，一般来说，这两个时钟将不会走得一样快；在上述那个著名的物理现象发现之前，人们曾经认为它们应该走得一样快。人们还假定，物质与反物质是等效的。那就是说，如果我们做一个形状一样的右旋反物质时钟，那么，它就会与右旋的物质时钟走得一样快，而如果我们做出一样的左旋时钟，它们也应该走得一样快。换句话说，原先人们相信所有这四种时钟全都走得一样快；现在我们当然知道，右旋物质和左旋物质是不一样的。因此，这样推测起来，右旋的反物质与左旋的反物质也是不一样的。

因此，显而易见的问题就是，如果存在配对的话，究竟哪一个对哪

一个呢？换句话说，右旋物质的行为举止与右旋反物质的一样吗？或者说，右旋物质的行为举止与左旋反物质的一样吗？使用正电子衰变代替电子衰变的β衰变实验显示，这种相互关联是：“右旋”物质的行为与“左旋”反物质的行为一模一样。

因此，总算得出结论了，左右对称性确实依旧维持下来！如果我们做了一个左旋时钟，只是用另一种类物质来做，即反物质而不是物质，那么，它就会走得一样快。因此，所得出的结论就是，出现在我们的对称性列表中的，不再是两条独立的规则，而是这两条规则合并起来变成一条新的规则，这条规则说，右旋物质与左旋反物质是对称的。

因此，如果我们的火星人朋友是由反物质构成的，而我们又指示他构造像我们这样的“右旋”模型，当然就会得出相反结果了。在经过了多次你来我往的交谈之后，我们彼此教会对方建造宇宙飞船，并且双方在宇宙空间的中途相会，这时，会发生什么事情呢？我们已经相互向对方传授过自己的习惯以及其他别的知识了，并且双方都迫不及待地相互握手。好了，如果他伸出左手，千万要当心！

2-9 不完整的对称性

下一个问题是，我们该如何去理解那些接近于对称的定律呢？有关这个问题，令人惊讶的是，一方面，在横跨物理学各个领域，包括强相互作用现象——核力、电相互作用现象，甚至像万有引力这样的弱的相互作用等重要的领域内，有关这些现象的所有的定律似乎都是对称的；另一方面，这个小小的额外的例子却认为，“不是的，物理定律并不是对称的！”大自然是几乎对称的，但又不是完全对称的，这究竟是怎么一回事？我们该怎样理解这一点？首先要问，我们还有任何别的例子吗？答案是，事实上我们确实有一些别的例子。比如说，在质子与质子之间、在中子与中子之间，以及在中子与质子之间，相互作用力的核力

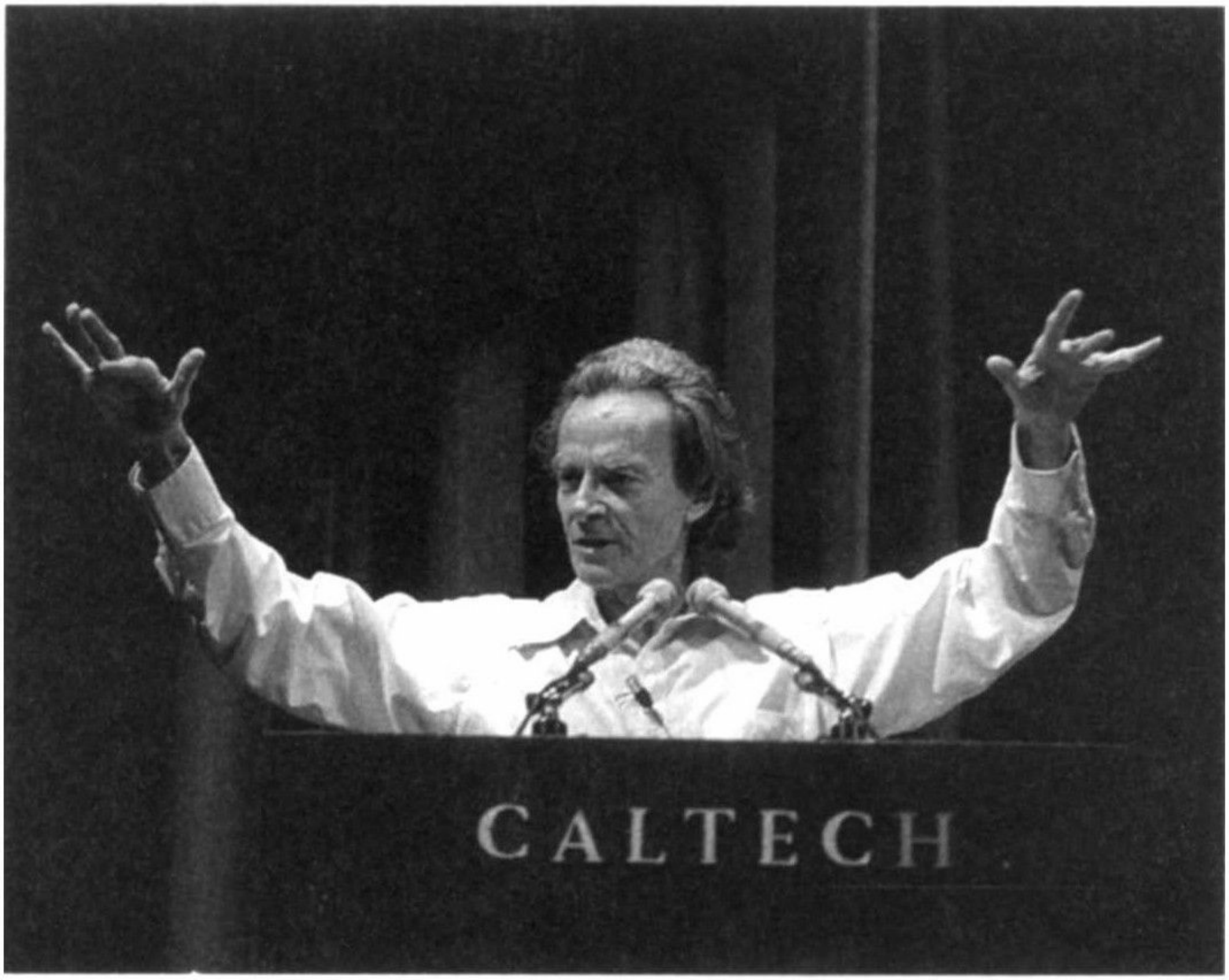
部分是完全相同的——核力具有一种对称性，一种新的对称性，它使我们能够交换中子和质子——可是，这种对称性显然不是一种普遍成立的对称性，原因就是，在两个相隔一段距离的质子之间的静电排斥力对中子而言并不存在。因此，我们总是能够用一个中子代替一个质子这个断言并不是普遍成立的，它只不过是一个好的近似。为什么说是好的近似呢？因为核力比静电力强得多。因此，这也是一个“接近于”对称的情形。这样看来，我们在别的事情上确实也有一些例子。

在人类的心智中有一种倾向，认为对称性是某种完美的象征。事实上，这与希腊人的古老的观念一样，认为圆是完美的，如果相信行星的轨道不是圆形，而只是接近于圆形，这就太可怕了。圆周轨道与近圆周轨道之间的差别并不是一种小小的差别，就人类的心智而言，这是一个根本性的改变。在圆形中存在着完美性和对称性的一个标志，一旦出现微小的偏离，就什么也没有了——这种偏离是完美性和对称性的终结——它不再是对称的了。于是，问题就在于，为什么行星的轨道只是接近于一个圆呢——这是一个困难得多的问题。一般来说，行星的实际运动轨道应该是椭圆，但是，随着时间的流逝，由于潮汐力等因素的作用，轨道就变得接近于对称了。接下来的问题是，我们在这里是否存在着一个类似的问题呢。从圆形的观点来看，这个问题就是，假如行星的轨道是精确的圆形，那么，情况显然是很简单的，也就无须做什么解释。可是，由于它们只是近似的圆形，就需要做很多解释，结果表明，这是一个很大的动力学问题，而我们现在的问题就是，通过考虑潮汐力等因素来解释它们为什么是近似对称的。

这样看来，我们的问题就是要解释对称性的由来。为什么大自然如此接近对称呢？没有人知道其所以然。我们可能想到的惟一的解释大概是这样的：在日本有一座大门，一座建于内冈市（Neiko）的大门，日本人有时认为它是全日本最美丽的大门；它是在深受中国艺术强烈影响的时期建成的。这座大门做得非常精巧，上面有许多山形墙和美丽的雕

刻，还有许多柱子以及刻有龙头和帝王图案的门柱，如此等等。可是，当人们挨近去看时，就会看到，在其中一根门柱上，在精巧而复杂的图案中，有一个小小的图案是颠倒过来刻的；要是没有这个图案，事情就是完全对称的了。如果你要问为什么会这样，传说中说，把它颠倒过来刻，为的是使天神不至于嫉妒人类的完美。因此，他们故意在那里留下一个错误，这样，天神就不会因为嫉妒而迁怒于人类了。

我们宁愿把这种看法倒过来，认为大自然之所以接近于对称，其真正的解释是：上帝把物理定律造得只是接近于对称，这样，我们就不至于嫉妒他的完美了！


CALTECH

第三章
狭义相对论

3-1 相对性原理

200多年以来，人们相信，由牛顿阐明的运动方程正确地描述了大自然，而第一次在这些定律中发现一个错误时，纠正这个错误的方法也就被找到了。这个错误及其纠正都由爱因斯坦于1905年发现。

我们曾经用以下方程来表述牛顿第二定律

$$F = \mathrm{d}(mv) / \mathrm{d}t.$$

这个表述含有一个不言而喻的假设，即m是一个常数，但是，我们现在知道这并不正确，物体的质量随速度的增加而增加。在经爱因斯坦修正过的公式中，m具有如下的表示形式

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \qquad （3．1）$$

其中“静质量”m_0表示一个不运动的物体的质量，而c是光速，大约等于3×10^5千米/秒，或者大约186000英里/秒（1英里约为1.609千米）。

对于那些只是为了解决问题的人来说，以上就是相对论的全部知识了——它只是通过引入一个质量修正因子对牛顿定律做了修正。从公式本身容易看出，在一般情况下，这个质量的增加是非常小的。如果速度大到像环绕地球运行的人造卫星那么高，即5英里/秒，那么v/c=5/186000：把这个数值代入公式中就看到，对质量的修正只等于二三十亿分之一，这个修正几乎不可能观测到。实际上，通过对多种粒子的观察，公式的正确性得到充分的证实，在这些粒子中，速度最高的几乎等于光速。然而，由于这种效应通常是如此之小，因此，它在理论

上先于在实验上被注意到。根据经验判断，在足够高的速度下，这种效应是非常大的，但是，它并不是用这种方法发现的。因此，了解一下一条涉及如此细微的修正的定律在首次被发现时，如何通过实验和物理推理方法的结合而被揭示出来是引人入胜的。许多人对这个发现做出了贡献，这些工作的最终成果就是爱因斯坦的发现。

实际上，爱因斯坦的相对论包括两个部分。这一章讲述狭义相对论，这个理论可以追溯到1905年。1915年，爱因斯坦发表了另一个理论，叫做广义相对论。这后一个理论研究狭义相对论到万有引力定律问题的扩展；我们在这里不会讨论广义相对论。

相对性原理最先由牛顿在他的运动定律的一个推论中陈述过：“在一个给定的空间中，各个物体的运动是彼此相同的，无论这个空间是静止的，还是做匀速直线运动。”这就意味着，比如说，如果一艘宇宙飞船正在匀速漫游，那么，在宇宙飞船中做的所有实验以及其中的所有现象，将与当飞船没有运动时所看到的一模一样，当然啦，要假定实验者不朝外张望。这就是相对性原理的意义。这是一个极其简单的观念，仅有的问题是，对于在一个运动系统中做的所有实验来说，物理定律看起来与假定该系统静止时的样子相同，这个断言是否正确？让我们先来研究一下牛顿定律在运动系统中是否一模一样。

假设莫正以匀速u朝x方向运动并测量某个点的位置，如图3-1所示。他在自己的坐标系中把这个点的“x坐标”记为x'。乔静止不动，并且测量同一个点的位置，在自己的坐标系中把他的“x坐标”记为x。两个坐标系中的坐标之间的关系从图中清楚可见。经过时间t之后，莫的坐标原点移过了一段距离ut，如果开始时两个坐标系重合，那么

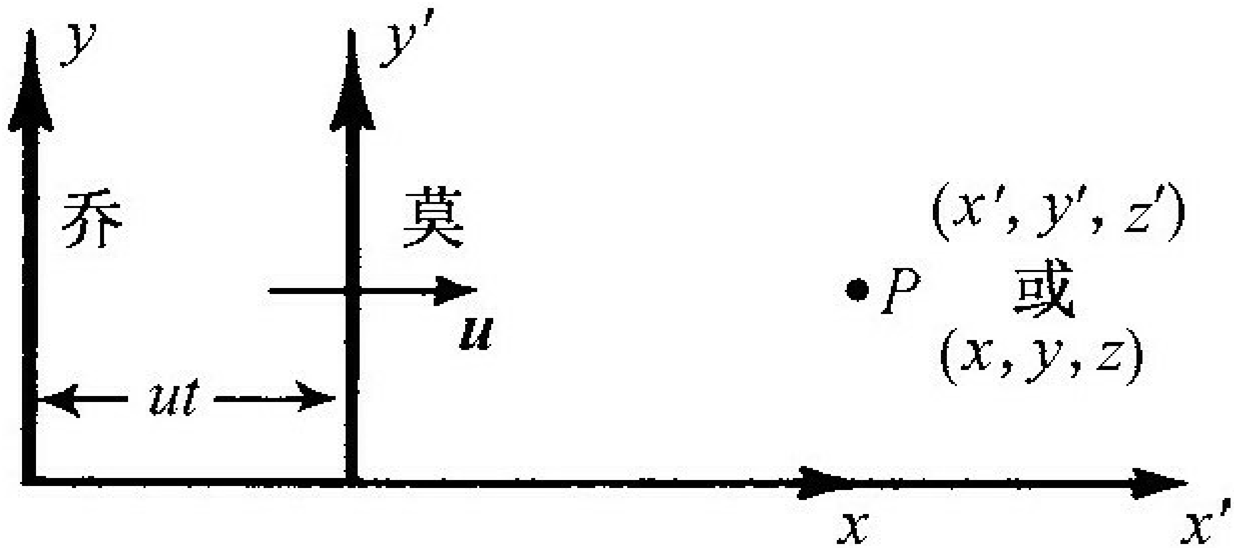


图3-1　沿着x轴做匀速相对运动的两个坐标系

$$
\begin{aligned}
x' &= x - ut, \\
y' &= y, \\
z' &= z, \\
t' &= t.
\end{aligned}
\tag{3.2}
$$

如果我们把这个坐标变换代入牛顿定律中，就会发现，当这些定律被变换到带撇的坐标系中时，形式是一模一样的；也就是说，牛顿定律在一个运动的坐标系中与在一个静止的坐标系中形式相同，因此，通过力学实验不可能得知系统是否在运动。

长期以来，相对性原理被用于力学问题中。它被各种不同的人，特别是惠更斯，用来求出台球的碰撞规则，其方法与我们在第10章[7]中用来讨论动量守恒的方法极其相似。在19世纪，由于研究工作进入了电、磁和光现象的领域，对这条原理的兴趣加深了。许多人对这些现象进行了大量细心的研究，其中麦克斯韦的电磁场方程组达到了顶峰，它用统一的方法描述了电、磁和光的现象。然而，麦克斯韦方程组似乎不遵从相对性原理。这就是说，如果我们把方程（3.2）代入麦克斯韦方程组

进行变换，那么，它们的形式并不保持不变；因此，在一艘运动着的宇宙飞船上，电学的和光学的现象应该不同于一艘静止的飞船上的现象。这样，人们就可以利用这些光学现象来确定飞船的速度；尤其是可以通过实施适当的光学的或电学的测量来确定飞船的绝对速度。麦克斯韦方程组的推论之一是，如果在场中出现扰动而发出光，那么，这些电磁波就会向四面八方均匀地以相同的速度*c*，即186000英里/秒传播。方程组的另一个推论是，如果扰动的源头在运动，发射出来的光则以相同的速度*c*穿越太空。这类似于声音的传播，声波的速度同样不依赖于波源的运动状态。

在光波的情况下，这种与波源的运动状态无关的特性，引出了一个引人入胜的问题：

设想我们坐在一辆以速度*u*行驶的汽车上，从后方发出的光波以速度*c*越过汽车传播。对（3.2）式求一次导数得到

$$\mathrm{d}x' / \mathrm{d}t = \mathrm{d}x / \mathrm{d}t - u,$$

这就意味着，根据伽利略变换，我们在汽车中测得的越过光波的表观速度就不会是*c*而应该是*c*-*u*。举例来说，如果汽车以100000英里/秒行驶，而光则以186000英里/秒传播，那么，表观上看，越过汽车的光波应该以86000英里/秒传播。总之，通过测量越过汽车的光波的速度（如果伽利略变换对光波而言正确的话），人们就应该能够确定汽车的速度。在这种一般想法的基础上，人们做了大量的实验以确定地球的速度，但是，这些实验全都失败了——它们根本没有给出什么速度来。为了确切地说明人们做了什么，以及问题到底出在哪里，我们将详细地讨论其中的一个实验；当然，确实是出了点什么问题，在物理方程中存在着某些错误。到底是怎么一回事呢？

3-2 洛伦兹变换

当物理方程在上述情形中失效的问题被揭示出来时，人们首先想到的是，麻烦一定出在电动力学的新的麦克斯韦方程组上，这组方程当时只有20年的历史。这些方程看起来几乎明显地一定是错的，因此，要做的事情就是改变它们，使得在伽利略变换下相对性原理得到满足。当人们试图这样做的时候，那些必须被引入到方程组中的新的项预言了新的电学现象，当人们从实验上检验这些预言时，这些现象根本就不存在，因此，这种尝试不得不被放弃。后来，事情逐渐地变得明朗了，电动力学的麦克斯韦定律是正确的，出现的麻烦必须在别的地方寻找。

在这个期间，洛伦兹在麦克斯韦方程组中实施下面的变换时注意到了一件不寻常的奇怪的事情：

$$
\begin{aligned}
x' &= \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}},\\
y' &= y,\\
z' &= z,\\
t' &= \frac{t-ux/c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}},
\end{aligned}
\qquad (3.3)
$$

当把这个变换应用到麦克斯韦方程组的时候，方程组保持形式不变！公式（3.3）就是著名的洛伦兹变换。接着，爱因斯坦仿效原先庞加莱的一个提议，建议所有的物理定律都应该在洛伦兹变换下保持不变。换句话说，我们应该改变的，不是电动力学的定律，而是力学的定律。我们应该如何改变牛顿定律，使它们在洛伦兹变换下保持不变呢？如果这个目标确定下来了，我们就必须以这样一种方式改写牛顿的方程组，使我们提出的条件得到满足。结果发现，惟一的要求就是，在牛顿方程组中的质量m必须用公式（3.1）给出的形式替换。当做了这种改变之后，牛

顿定律和电动力学定律就会相互协调。于是，如果我们在比较莫与乔的测量时使用洛伦兹变换，就根本不可能搞清楚究竟哪一个人在运动，原因就是，在两个坐标系中，所有方程的形式都将是相同的！

用坐标与时间之间的新变换代替旧变换到底有什么意义，讨论一下这个问题是颇为有趣的，因为旧的（伽利略）变换似乎是不言而喻的，而新的（洛伦兹）变换看起来是特殊的。我们想知道，是新的而不是旧的变换正确，这在逻辑上和实验上是否可能。为了找出问题的答案，研究力学定律是不够的，而是应该像爱因斯坦所做的那样，还必须分析我们关于空间和时间的观念，以便理解这个变换。我们将不得不相当详尽地讨论这些观念以及它们在力学上的含义，因此，我们先交待一下，因为结论与实验是一致的，所以这种努力是有理由的。

3-3　迈克尔孙-莫雷实验

正如上面所提到的，人们多次尝试确定地球通过假想的“以太”运动时的绝对速度，这种“以太”被想象成充满整个空间。在这些实验中，最著名的是迈克尔孙和莫雷在1887年所做的一个实验。18年之后，该实验的否定结果才最终由爱因斯坦做出了解释。

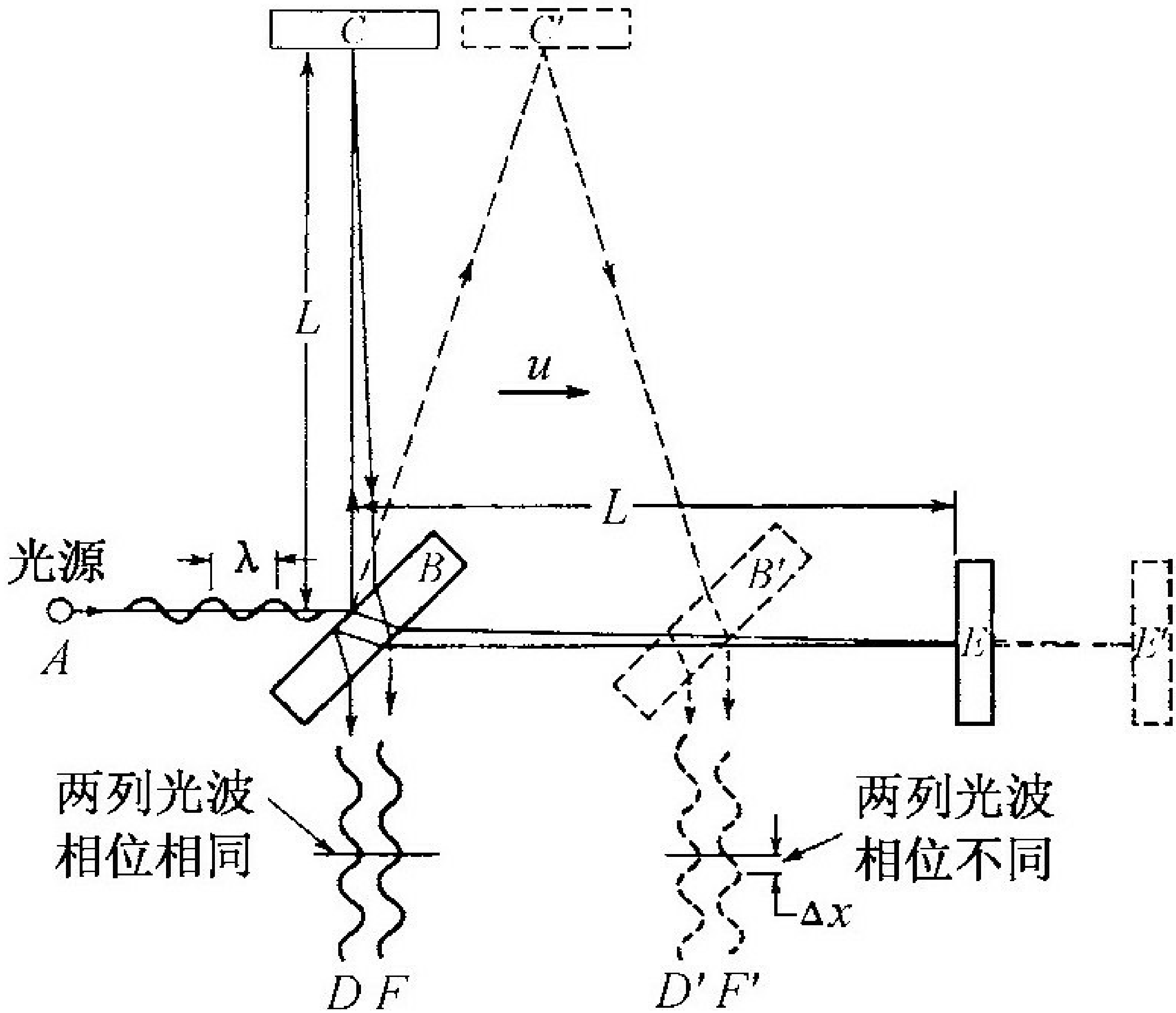


图3-2　迈克尔孙-莫雷实验示意图

迈克尔孙-莫雷实验使用一台如图3-2所示的仪器进行。这台仪器基本上由一个光源*A*、一块部分镀银的玻璃板*B*和两块镜子*C*和*E*组成，所有部件都安装在一块坚固的底座上。两块镜子被安装在与*B*等距离*L*的位置。玻璃板*B*将入射的光束分开成两束，而这两束被分开的光束在相互垂直的方向继续射向两面镜子，在那里，它们被反射回*B*处。在返回到*B*时，这两束光作为叠加光束*D*和*F*重新结合起来。假如光从*B*传播到*E*的来回时间与从*B*传播到*C*的来回时间相等，那么，出来的光束*D*和*F*的相位就会相同，而光强就会相互加强，但是，如果这两个时间稍微不同，这两束光就会有微小的相位差，结果就会产生干涉现象。如果这台

仪器“静止”在以太中，那么，这两个时间就应该正好相等，但是，如果仪器以速度u朝右方运动，这两个时间就会存在差异。

让我们看一看为什么会这样。

我们先计算光从B传播到E并返回所需要的时间。令光从玻璃板B传播到镜子E的时间是t_1，而返回的时间是t_2。现在，在光从B传播到镜子这段时间内，仪器运动了一段距离ut_1，因此，光波必须以速度c穿越一段距离$L+ut_1$。我们也可以用ct_1表示这段距离，由此得到

$$ct_1 = L + ut_1,\ 或者\ t_1 = L/(c-u).$$

（从光波相对于仪器的速度是$c-u$这个观点来看，上述结果也是明显的，因此，时间就是长度L被$c-u$除。）用类似的方法可以计算时间t_2。在这段时间内，玻璃板B前进了一段距离ut_2，因此，光波的回程距离是$L-ut_2$。于是得到

$$ct_2 = L - ut_2,\ 或者\ t_2 = L/(c+u).$$

结果，总的时间就是

$$t_1 + t_2 = 2Lc/(c^2 - u^2).$$

为了便于今后对时间做比较，我们将这个式子写成

$$t_1 + t_2 = \frac{2L/c}{1 - u^2/c^2} \qquad (3.4)$$

第二个计算是光波从B传播到镜子C的时间t_3。与前面一样，在t_3时

间内，镜子C向右运动了一段距离ut_3到达位置C'；与此同时，光波沿着一个直角三角形的斜边传播了一段距离Ct_3，这个距离是BC'。对于这个直角三角形我们有

$$(ct_3)^2 = L^2 + (ut_3)^2$$

或者

$$L^2 = c^2t_3{}^2 - u^2t_3{}^2 = (c^2 - u^2)t_3{}^2,$$

由此得到

$$t_3 = L / \sqrt{c^2 - u^2}.$$

对于从C'返回的路程，从示意图的对称性可以看出，距离是一样的；因此，回程的时间也是一样的，而总的时间是$2t_3$。稍微将公式的形式重新整理一下就能够写出

$$2t_3 = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - u^2}} = \frac{2L/c}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}. \qquad （3.5）$$

我们现在能够比较两束光所耗费的时间了。表达式（3.4）和（3.5）的分子是相等的，它们表示假定仪器不动时要花费的时间。在分母中，除非u的大小与C差不多，否则u^2/C^2项将会很小。分母表示由仪器的运动引起的时间上的修正。看到了吧，这些修正并不相等——尽管两块镜子到B是等距离的，传播到C并返回的时间也要比传播到E并返回的

时间稍微短一些，而我们必须要做的就是要精确地测量这个差别。

这里出现了一个不太重要的技术性的问题——假设两段长度L不精确地相等会怎样？事实上，我们肯定不能使它们完全相等。在这种情况下，我们只要将仪器转过90°，使BC沿着运动的方向而BE垂直于运动的方向就行了。这样，长度上任何微小的差异就变得不重要了，而我们要寻找的就是，当我们转动仪器时干涉条纹的移动。

在进行实验时，迈克尔孙和莫雷将仪器放置得使BE线（在白天和夜晚的某些时候）几乎平行于地球在其轨道上运动的方向。这个轨道速度大约是每秒18英里，而在白天或者夜晚的某个时刻以及在一年之中的某段时间，任何“以太漂移”都应该至少是这个数值。这台仪器的灵敏度足以观测到这种效应，但是，并没有观察到任何时间上的差异——地球通过以太的速度没能被探测到。实验的结果是零。

迈克尔孙-莫雷实验的结果令人极其费解和不安。寻求一个绝地逢生的方法的第一个富有成效的观念由洛伦兹提出。他指出，当物体运动时会收缩，收缩只是在运动的方向上发生。他还提出，如果一个物体静止时的长度是L_0，那么，当它以速度u平行于其长度方向运动时，新的长度由下式给出

$$L_{\parallel}=L_0\sqrt{1-u^2/c^2}. \qquad (3.6)$$

我们把这个长度叫做$L_{\parallel}$（L平行）。当把这个修正用到迈克尔孙-莫雷干涉仪时，从B到C的距离不改变，但是，从B到E的距离缩短到$L\sqrt{1-u^2/c^2}$。因此，公式（3.5）不变，但是，公式（3.4）中的L就必须按照公式（3.6）而改变。当做了这些改变后，我们就得到

$$t_1+t_2=\frac{(2L/c)\sqrt{1-u^2/c^2}}{1-u^2/c^2}=\frac{2L/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}}. \qquad (3.7)$$

把这个结果与公式（3.5）做比较，我们就看到$t_1+t_2=2t_3$。因此，如果仪器以刚才描述的方式收缩，我们就能够理解，为什么迈克尔孙-莫雷实验根本没有给出任何效应。虽然收缩假设成功地解释了实验的否定结果，但却遭到人们的非议，认为它只是专门为了把困难解释过去而发明出来的，而且太不自然了。然而，在寻找以太风的许多其他实验中，出现了类似的困难，直到最后才发现，这似乎是大自然阻挠人类的“阴谋”，它通过引入某些新的现象来破坏它认为有可能测出u的各种现象。

人们最终认识到，正如庞加莱指出的那样，整个阴谋本身就是大自然的一条定律！庞加莱接着提出，存在这样一条自然定律，即不可能通过任何实验找到以太风；也就是说，不可能确定绝对速度。

3-4 时间的变换

在检验收缩的观念是否与其他实验中的事实协调一致时，人们发现，只要按照方程组（3.3）的第四个公式把时间也修正一下，一切就正确无误了。这是因为，从B传播到C并返回的时间t_3，在运动的宇宙飞船中进行实验的人算出的结果，与一个注视着宇宙飞船的静止观察者算出的并不相等。对于宇宙飞船上的人来说，这段时间就是$2L/c$，但是，对于另一个观察者来说，这段时间就是$(2L/c)/\sqrt{1-u^2/c^2}$［（3.5）式］。换句话说，当外部观测者看见宇宙飞船中的人点着一支烟时，所有的动作似乎都比正常情况慢，而对于飞船上的人，每件事情都以正常的速率变动。这样看来，不仅长度需要缩短，而且计时工具（“时钟”）显然也必须变慢。也就是说，在宇宙飞船上的人看来，当飞船上的时钟走过1秒时，对外面的人来说，它表示过了$1/\sqrt{1-u^2/c^2}$秒。

时钟在一个运动的坐标系中减慢是一种非常奇特的现象，因而需要做一番解释。为了理解这种现象，我们必须看一看时钟内部的机件，并且注意它运动时有什么事情发生。由于这件工作相当困难，我们将用一种非常简单的时钟。我们选择的是一种相当笨的时钟，但是原则上它是能够工作的：它是一把两端各有一面镜子的尺子（米尺），当我们在镜子之间发送一个光信号时，光波不间断地往返传播，每当光波向下传播时，它就滴答响一声，就像一个滴答作响的标准时钟那样。我们做两个这样的时钟，它们的长度完全相同，并且一起启动使它们同步；于是，由于它们的长度相同，而光波又总是以速度c传播，因此，从那时起它们就总是走得一模一样。我们把其中一个时钟让一个人带上他的宇宙飞船，他将尺子放置成垂直于飞船的运动方向；这样，尺子的长度就不会改变。我们怎样知道垂直方向的长度不变呢？双方的观察者可以约定，当他们擦肩而过时彼此在对方的y方向米尺上做上标记。由对称性可知，两个标记一定在相同的y坐标和y'坐标上，否则的话，当他们聚在一起比较结果的时候，一个标记就会比另一个高或者低，而我们就可以这样来区分谁真的在运动。

现在，让我们来看一看运动的时钟发生了什么事情。在宇航员把它带上飞船之前，他同意这是一只准确的、标准的时钟，而当他坐在飞船上往前飞时，他看不到任何特殊的事情。如果他看到了，他就会意识到他在运动——如果有什么事情由于运动而改头换面，他就会知道他在运动。但是，相对性原理认为，在一个匀速运动的坐标系中这是不可能的，因此，不会产生任何改变；另一方面，当外部观察者看着从旁边经过的时钟时，他就会看到在两块镜子之间来回传播的光“真的”走着一条之字形的路径，因为尺子始终做横向运动。我们已经在有关迈克尔孙-莫雷实验的问题中分析过这样一条之字形的运动了。如果在一个确定的时间内尺子向前运动了一段正比于u的距离，如图3-3所示，光在相同的时间内走过的距离正比于c，那么，垂直距离就会因此而正比于$\sqrt{1-u^2/c^2}$。这就是说，光在运动的时钟内来回传播比在静止的时钟内花费更长的时

间。因此，运动的时钟内滴答声之间的表观时间就较长，延长的比例与图中所示的直角三角形的斜边（这就是在我们的公式中那个开平方根式的来由）的比例相同。从图中也可以明显地看出，*u*越大，运动的时钟看起来就走得越慢。不仅这种特别的时钟走得更慢，而且，假如相对论是正确无误的，那么，任何其他的时钟，无论根据什么原理工作，看起来也会走得更慢，并且变慢的比例是一样的——我们无须做进一步的分析就能够这样说。为什么会这样呢？

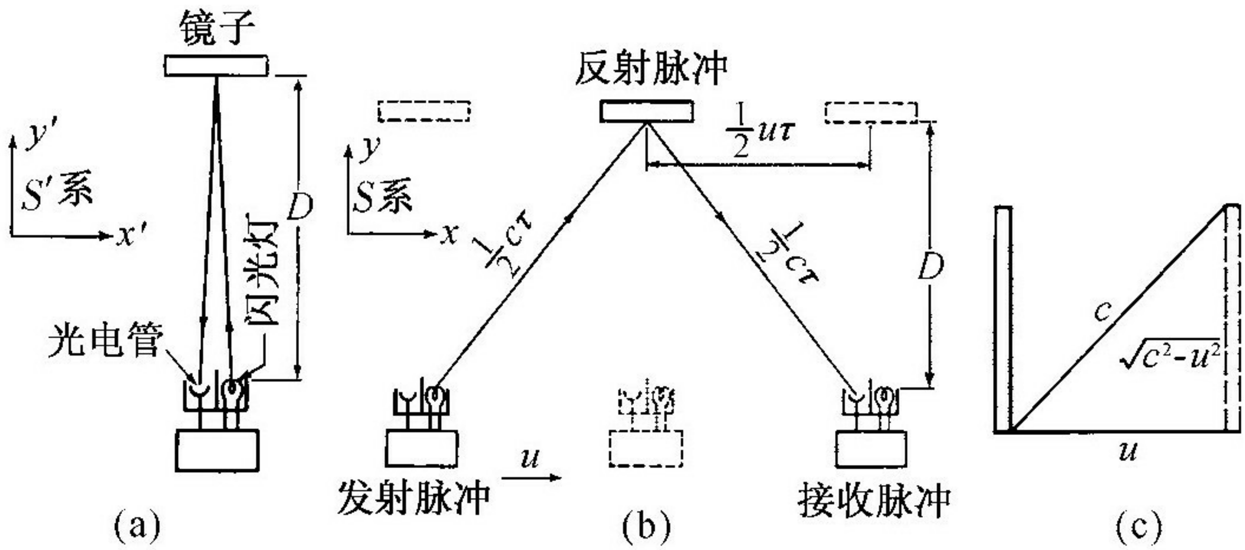


图3-3 （a）一个静止于S'系中的“光钟”；（b）相对于S系运动的同样的时钟；（c）在一个运动的“光钟”内的光束所走的斜向路径示意图

为了回答上面的问题，设想我们另外有两个做得一模一样的时钟，它们或者用齿轮等部件，或者以放射性衰变为原理，或者用别的什么东西做成。接着，我们将这两个时钟校准，使它们与原先那种时钟严格同步。当光波在原先的两个时钟内来回传播并以一声滴答声显示它的到达时，两个新式的时钟也完成了某种循环，这种循环通过连续两次发生在同一地点的闪光、叮当声或者其他信号被同时显示出来。其中的一个这种时钟连同第一种时钟一起被带上宇宙飞船。也许这个时钟并不会走得慢一些，而是会继续与那个静止的同样的时钟保持同步，因而与另一个运动的时钟不一致。啊，不会这样的，假如真的发生这种事情，飞船中

的人就可以利用他的两个时钟之间的这种不一致来确定他的飞船的速度，而我们一直都在假定，这是不可能的。我们并不需要了解导致新型时钟产生这种效应的任何机理——我们只是知道，不管什么原因，它看起来都将会像第一个时钟那样走得慢。

好，如果所有的运动时钟都走得比较慢，如果测量时间的任何方法都给出较慢的时间进程，那么，我们就只好说，从某种意义上说，在一艘宇宙飞船上，时间本身看来就比较慢。在那里的所有现象——人体的脉搏率，他的思维过程，他点燃一支烟的时间，他成长和衰老的进程——所有这些事情必定以同样的比例慢下来，原因就是他无法知道自己在运动。生物学家和医生有时候会说，在一艘宇宙飞船上，癌症扩散所需要的时间不一定会更长，但是，从一个现代物理学家的观点看，这几乎是确凿无疑的；否则，人们就可以利用癌症扩散的速率来确定飞船的速度！

时间随着运动变慢的一个非常有趣的例子与μ介子（μ子）有关，这是一种平均寿命为2.2×10^{-6}秒的自发衰变粒子。它们随宇宙射线一起到达地球，也可以在实验室中由人工产生出来。其中有些粒子在半空中就衰变掉了，但是，剩余的只有在与物体碰撞而停下来之后才衰变。显然，即使μ子以光速运动，在其短暂的一生中走过的路程也不会超出600米。不过，虽然μ子是在约10千米高的大气层顶部产生的，但是，在大气层下面的实验室中，人们在宇宙射线中确实找到了它们。这怎么可能呢？答案是，各种μ子以不同的速率运动，其中有一些非常接近光速。虽然在它们自身看来它们只生存了大约2微秒，但是，在我们看来它们生存长得多的时间——长得足以令它们可以到达地面。时间增加的因子已知是$1/\sqrt{1-u^2/c^2}$。各种速度的μ子的平均寿命已经被相当精确地测量过了，所得到的结果与上述公式严格一致。

我们并不知道μ子为何会衰变，或者它的内部机理是什么，不过，

我们确实知道，它的行为符合相对性原理。这就是相对性原理的效用——它允许我们甚至对那些我们在其他方面知之不多的事情做出预言。比如说，在我们对引起介子衰变的原因获得一些概念之前，还是能够预言，当它以9/10倍光速的速度运动时，它所能生存的表观时间长度是$(2.2\times10^{-6})/\sqrt{1-u^2/c^2}$秒；我们的预言是有用的——这是有关这个问题的一件好事。

3-5　洛伦兹收缩

现在，让我们回到洛伦兹变换的（3.3）式，并尝试更好地理解坐标系（x, y，z, t）与（x'，y'，z'，t'）之间的关系，我们将这两个坐标系分别叫做s系和s'系，或者叫做乔和莫的坐标系。我们已经看到，第一个方程是以沿x方向收缩的洛伦兹假设为基础的；我们如何能够证明发生这种收缩呢？我们现在认识到，在迈克尔孙-莫雷实验中，由于相对性原理，横向的光臂BC不会改变长度；但是实验的零结果要求两个时间必须相等。因此，为了使实验给出零结果，纵向的光臂BE看起来必须缩短一个因子$\sqrt{1-u^2/c^2}$。根据乔和莫所做的测量，这种收缩是什么意思呢？假如随同s'系沿x方向运动的莫正在用一把米尺测量某个点的x'坐标。他用米尺量了x'次，这样，他就认为距离是x'米。然而，在s系中的乔看来，莫正在使用一把被缩短了的尺子，因此，被测出的“真实”距离是$x'\sqrt{1-u^2/c^2}$米。于是，如果s'系离开s系运动了一段距离ut，那么，s系上的观察者就会说，在他的坐标系中测量时，同样那个点的距离是$x=x'\sqrt{1-u^2/c^2}+ut$，或者

$$x'=\frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}},$$

这就是洛伦兹变换的第一个方程。

3-6　同时性

与上述问题类似，由于时间标度的差异，在洛伦兹变换的第四个方程中也引入了这个分母的表达式。在这个方程式中，最有趣的一项是分子中的ux/c^2项，因为这是完全新的和未曾预料到的。那么，这一项有什么意义呢？如果我们细心留意一下这个情况，就会发现，由莫在*S*′中看，两个在不同地点同时发生的事件，由乔在*S*中看并不同时发生。如果一个事件在t_0时刻在x_1处发生，而另一个事件则在（相同的）t_0时刻在x_2处发生，那么，我们就会发现，两个对应的时刻t'_1和t'_2相差一个数值

$$t'_2 - t'_1 = \frac{u(x_1 - x_2)/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}.$$

这种情况叫做“相隔一段距离的同时性的破坏”，为了把这个概念搞得更清楚一点，让我们考虑下面的实验。

设想一个在一艘宇宙飞船（*S*′系）中活动的人在飞船的两头各放置了一个时钟，并且有兴趣确定这两个时钟是否同步。怎样能够使两个时钟同步呢？有许多方法。一种几乎不需要多少计算的方法是，首先精确地定出两个时钟之间的中点。然后，从这个位置发送一个光信号，这个信号将以相同的速度向两个方向传播并且肯定会同时抵达两个时钟处。信号的这种同时抵达能够用来使时钟同步。让我们接着设想，在*S*′系中的人用这个特别的方法让他的时钟同步。让我们来看一看，在*S*系中的观察者是否会认为这两个时钟是同步的。在*S*′系中的人有理由相信它们

是同步的，因为他不知道自己在运动。但是，在S系中的人却推论说，由于飞船向前运动，前面的时钟正在背离光信号，因此，光波为了要赶上它，必须走过大于一半的路程；然而，后面的时钟却迎着光信号向前传播，这段距离就比较短。因此，信号首先抵达后面的时钟，虽然在S'系中的人认为信号同时到达。我们由此看到，如果宇宙飞船中的人认为两个位置上的时间是同时的，那么，在他的坐标系中，两个相等的t'值必定对应于另一个坐标系中两个不同的t值！

3-7　四维矢量

让我们来看一看在洛伦兹变换中还能够发现些什么别的东西。在x项和t项之间的变换，形式上类似于我们在第一章中研究坐标系的旋转时考虑过的x项和y项的变换，注意到这一点是饶有趣味的。在那里我们有

$$\begin{aligned} x' &= x\cos\theta + y\sin\theta, \\ y' &= y\cos\theta - x\sin\theta. \end{aligned} \tag{3.8}$$

其中新的x'把原来的x和y组合了起来，而新的y'也把原来的x和y组合了起来；与此相似，在洛伦兹变换中，我们看到了由x和t组合起来的新的x'，以及由t和x组合起来的新的t'。这样，洛伦兹变换就类似于一种旋转，只不过它是在空间和时间中的“旋转”，这似乎是一个奇怪的观念。这种与旋转的类比可以通过计算以下的量来核实

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2. \tag{3.9}$$

在这个方程中，每一边的前三项在三维几何中表示一个点和原点之间的距离（一个球面）的平方，不管坐标系怎样旋转，它都保持不变（不变

量）。同样，方程（3.9）表示，存在某种包括时间在内的组合，它在洛伦兹变换下并不改变。这样，与旋转的类比就完整了，而且，这种类比表明，矢量（也就是这样一些量，它们含有变换方式与坐标和时间的变换方式一样的“分量”）在相对论领域也是有用的。

因此，我们来尝试把矢量概念加以推广，使之包括时间分量，而到目前为止我们认为它只有空间分量。这就是说，我们认为应该存在有4个分量的矢量，其中3个与一个普通矢量的分量相似，而这些分量还将与第4个分量结合起来，这个分量是时间部分的类比。

这个概念将在后面几章中做进一步的分析，在那里我们会发现，如果将前一节的观点应用到动量上，那么，变换关系给出3个与普通动量分量一样的空间部分，以及一个第4分量，即时间部分，它就是能量。

3-8　相对论动力学

我们现在准备更一般地研究在洛伦兹变换下力学定律到底取什么形式。（迄今为止，我们已经解释过长度和时间如何变化，但是还没有讨论过怎样得到m的修正公式[公式（3.1）]。我们将在下一章中对此加以说明。）为了看一看爱因斯坦对牛顿力学中的m进行修正的重大意义，我们从力是动量的变化率这条牛顿定律开始，也就是

$$\boldsymbol{F}=\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})/\mathrm{d}t.$$

动量还是用mv表示，但是，当我们使用新的m时，这个公式就变成

$$\boldsymbol{p}=m\boldsymbol{v}=\frac{m_0\boldsymbol{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \tag{3.10}$$

这就是牛顿定律的爱因斯坦修正。在这种修正下，如果作用力和反作用力仍然相等（这并不一定指在每个时刻都如此，而是指最终结果相等），那么，就会和以前一样存在动量守恒，但是，得以保持不变的量并不是原来使用不变质量的*mv*，而是如公式（3.10）所表示的量，这个量使用经过修正的质量。在动量的公式中做了这个改变之后，动量守恒仍然有效。

现在，让我们来看一看，动量如何随着速度而改变。在牛顿力学中，动量正比于速度，并且，根据（3.10）式，在一个速度小于*c*的相当广的范围内，由于平方根式与1相差无几，因此，在相对论力学中动量随速度的变化关系几乎是一样的。但是，当*v*几乎等于*c*时，平方根式接近零，动量因此而趋向无限大。

假如一个不变的力作用到一个物体上很长一段时间，会发生什么事情呢？在牛顿力学中，物体持续不断地加速，最终运动得比光还要快。但是，这在相对论力学中是不可能的。在相对论中，物体持续不断地增加动量，而速度却不会这样，动量能够不断地增加是因为质量在增加。经过一段时间后，从速度改变这层意义上看，实际上并不存在加速度，但是动量却继续增加。当然，只要一个力使某个物体的速度产生很小的改变，我们就说这个物体具有很大的惯性，而这正好就是相对论质量公式所要表达的意思[参见公式（3.10）]——这个公式告诉我们，当*v*几乎与*c*一样大小时，惯性是非常大的。下面是这种效应的一个例子，在加州理工学院的同步加速器中，为了让高速电子偏转，我们需要非常强的磁场，它的强度比根据牛顿定律预期的要强2000倍。换句话说，同步加速器中的电子的质量是它们的正常质量的2000倍，就像一个质子的质量那么大！m应该是m_0的2000倍意味着$1-v^2/c^2$一定是1/4000000，这就意味着v^2/c^2与1相差1/4000000，或者v和c相差1/8000000，因此，电子的速度非常接近光速了。如果电子和光同时开始从这个同步加速器中产生并注入布里奇实验室[Bridge Lab，估计在700英尺（1英尺约为0.3048

米）远处]，那么，谁会先到达呢？当然是光，因为光总是运动得更快。[8]提前多少时间呢？那太难说了——我们还是改为用光所超前的距离表示吧：大约是1/1000英寸（1英寸约为0.0254米），或者说一张纸厚度的1/4！当电子运动得这么快时，它们的质量是巨大的，但是，它们的速度不能超过光速。

现在，让我们来考察一下，质量的相对论修正的一些进一步的结果。考虑一个小容器中气体分子的运动。当气体被加热时，分子的速度就增加，因此质量也增加，从而气体就更重。在速度很小的情况下，可以利用二项式定理将$m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}=m_0(1-v^2/c^2)^{-1/2}$展开成幂级数，从而得到表示质量增加的近似公式。展开的结果是

$$m_0(1-v^2/c^2)^{-1/2}=m_0\left(1+\frac{1}{2}v^2/c^2+\frac{3}{8}v^4/c^4+\cdots\right).$$

我们从这个公式中清楚地看到，当v很小的时候，级数迅速收敛，头两三项之后的各项可以忽略。于是可以写出

$$m\approx m_0+\frac{1}{2}m_0v^2\left(\frac{1}{c^2}\right). \qquad (3.11)$$

公式右边的第二项表示分子由于具有速度而引起的质量增加。当温度增加时，v^2成正比增加，这样，我们就可以说，质量的增加正比于温度的增加。但是，由于在原来的牛顿意义下$m_0v^2/2$是动能，因此，我们也可以说，全部气体的质量的增加等于动能的增加被c^2除，或者写成$\Delta m=\Delta(K.E.)/c^2$。

3-9　质量和能量的等效性

上述的观察引导爱因斯坦提出这样一个建议，如果我们设想，一个物体的质量等于它的总能量被c^2除，那么，物体的质量就能够表示得比公式（3.1）更简单。如果用c^2乘公式（3.11），结果就是

$$mc^2=m_0c^2+\frac{1}{2}m_0v^2+\cdots. \qquad (3.12)$$

在公式中，左边的项表示一个物体的总能量，右边最后一项就是普通的动能。爱因斯坦把那个很大的常数项m_0c^2解释成是该物体的总能量的一部分，它是一种叫做“静能”的固有能量。

让我们跟随爱因斯坦探究一下，物体的能量总是等于mc^2这个假设有些什么推论。作为一个有趣的结果，我们将导出质量随速度变化的公式（3.1），到目前为止，我们只是把这个公式当做假设来看待。我们从处于静止状态的物体开始，这时，它的能量是m_0c^2。接着，我们对这个物体施加一个力，这个力使物体开始运动并给予它动能；因此，由于能量增加了，质量也就增加了——这已经隐含在最初的假设中了。只要力继续作用，能量和质量两者就会不断地增加。我们已经看到（第13章[9]），能量对时间的变化率等于力乘以速度，也就是

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{v}. \qquad (3.13)$$

我们还有（第9章[10]公式9.1）F=d（mv）/dt。当这些关系与能量的定义结合起来时，公式（3.13）就变成

$$\frac{\mathrm{d}(mc^2)}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{v}\cdot\frac{\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})}{\mathrm{d}t}. \qquad (3.14)$$

我们希望求解这个方程得到m。为了这样做，我们首先利用一个数学技巧，在方程的两边乘2m，把方程变成

$$c^2(2m)\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}=2mv\frac{\mathrm{d}(mv)}{\mathrm{d}t}. \tag{3.15}$$

我们需要把导数除去，这可以通过对方程的两边做积分来实现。可以看到（2m）dm/dt这个量是m^2的时间导数，而（2mv）·d（mv）/dt则是（mv）^{2}的时间导数。因此，方程（3.15）等同于

$$c^2\frac{\mathrm{d}(m^2)}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}(m^2v^2)}{\mathrm{d}t}. \tag{3.16}$$

如果两个量的导数相等，这两个量本身最多相差一个常数，比如说C。这使我们能够写下

$$m^2c^2=m^2v^2+C. \tag{3.17}$$

我们需要更明确地确定常数C。由于方程（3.17）必定对所有的速度都成立，因此我们可以选择v=0这个特别的情形，并且认为这种情况下的质量就是m_0。把这些量代入方程（3.17）中就得出

$$m_0{}^2c^2=0+C.$$

现在可以把这个C值代入方程（3.17）中，方程变成

$$m^2c^2=m^2v^2+m_0{}^2c^2. \tag{3.18}$$

用c^2除并重新整理各项就得出

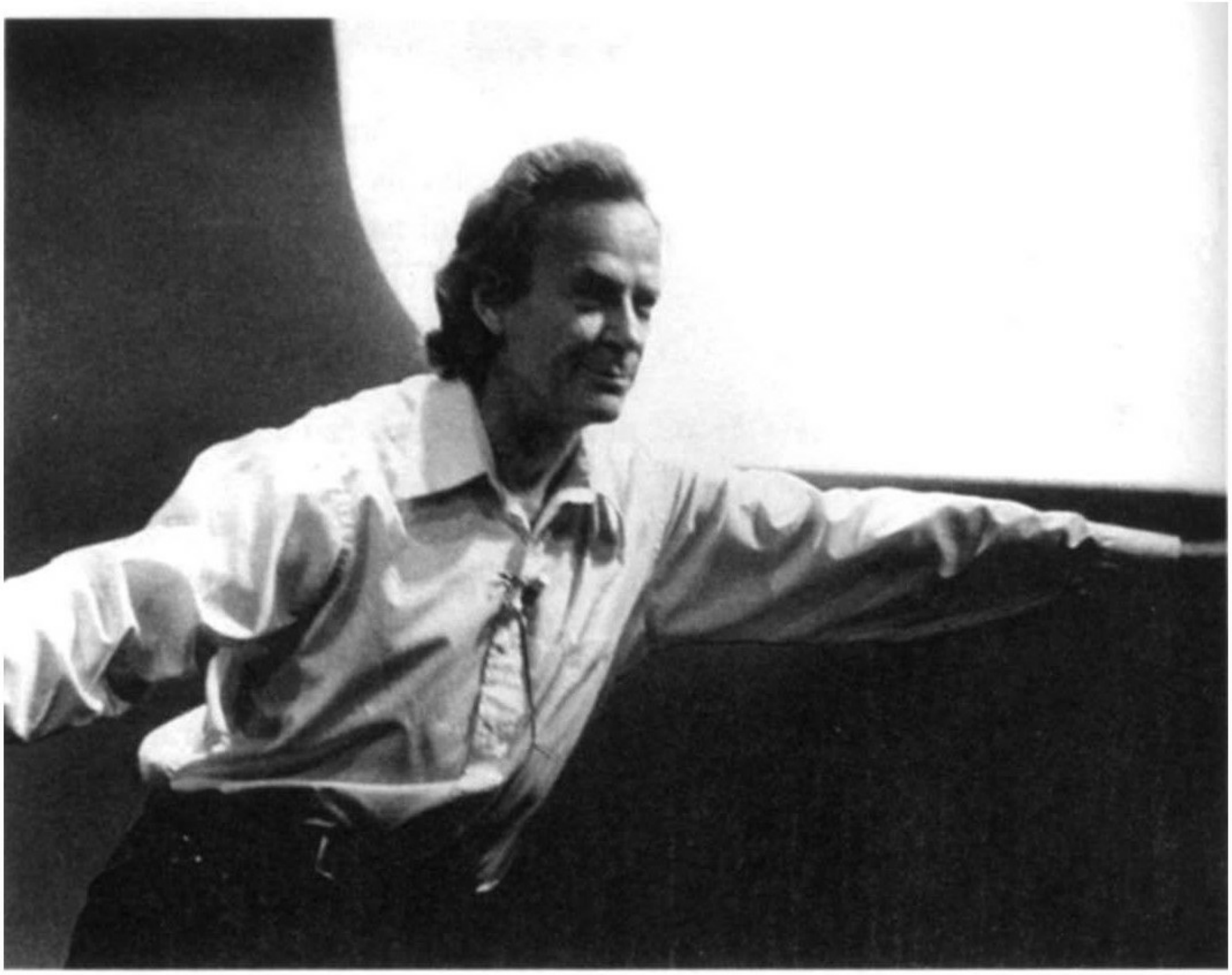
$$m^2(1-v^2/c^2)=m_0{}^2,$$

由这个结果我们得到

$$m=m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}. \qquad (3.19)$$

这就是公式（3.1），正好就是为了使公式（3.12）中的质量与能量相一致所需要的。

通常，这些能量变化相当于质量上非常轻微的改变，原因就是，我们平时不可能从一定量的材料中产生许多能量；但是，以一个爆炸能量相当于2万吨级TNT的原子弹为例，可以证明，由于能量被释放出来，爆炸之后的残余物比反应材料的初始质量轻了1克，也就是说，根据关系式$\Delta E=\Delta mc^2$，被释放出来的能量具有1克的质量。利用物质湮没而完全转变成能量的实验，这个关于质量与能量的等效性的理论已经被完美地证实：一个电子和一个正电子在静止状态下被放在一起，每一个带有静质量m_0。当它们碰到一起时，就会蜕变成两束伽马射线，每一束射线具有精确的能量m_0c^2。这个实验提供了一个直接的方法，用来确定与一个粒子的静质量相联系的能量。



第四章
相对论性的能量和动量

4-1　相对论和哲学家

在这一章中，我们将继续讨论爱因斯坦和庞加莱的相对性原理，因为它影响着我们的物理观念和人类思想的方方面面。

庞加莱对相对性原理做过以下的表述：“根据相对性原理，对一个不动的观察者和一个相对于他做匀速平移运动的观察者来说，描述物理现象的规律必定是相同的，所以，我们没有，也不可能有任何方法判断我们是否参与了这样一种运动。”

当这种观念骤然降临到这个世界上时，在哲学家中引起了巨大的骚动，特别是那些“鸡尾酒会哲学家”，他们会说，“噢，这非常简单，爱因斯坦的理论认为，一切都是相对的！”事实上，数目多得令人吃惊的哲学家们，不仅是那些在鸡尾酒会上出没的哲学家（不过，为了不令他们难堪，我们就把他们叫做“鸡尾酒会哲学家”吧），都会宣称，“一切都是相对的，这是爱因斯坦的结论，它对我们的思想观念有深刻的影响。”除此之外，他们还说“现象依赖于参考系，这在物理学上已经得到证明”。这样的说法我们听得太多了，但是，却很难弄清楚它到底是什么意思。最初谈到的参考系也许就是我们在相对论的分析中用到的坐标系。这样，“事情依赖于人们的参考系”这个事实就被认为是对现代思想观念有过深刻的影响。人们可能很想知道这是为什么，因为事情依赖于某个人的观点这个想法毕竟是如此简单，因此，为了要发现它，肯定不需要物理学的相对论煞费苦心。某个人所看到的事情依赖于他的参考系，这个结论肯定是任何一个走在路上的人都知道的，因为，他首先从前面看见一个走近的行人，然后再看到他的背后；在据说是渊源于相对论的大多数哲学中，没有比“一个人从前面看和从背后看并不一样”这样一种说法更深刻的了。“盲人摸象”这个古老的故事也许是哲学家对相对论所持有的观点的另一个例子。

但是，在相对论中，必定存在比“一个人从前面看和从背后看并不一样”这样一种简单的说法更深刻的东西。相对论当然比这个要深刻得多，因为我们能够借助它做出明确的预言。如果仅仅从这样一个简单的观察事实就可以预知大自然的行为，那么，它肯定是相当不寻常的。

还有另外一派的哲学家，他们对相对论感到极度不安，相对论认为，如果不留意外面的某些东西，我们就不能够确定我们的绝对速度，而这些哲学家则认为，“一个人不留意外界的事物就不能确定他的速度，这是显而易见的。不借助外界而谈论一个物体的速度是毫无意义的，这也是不言而喻的；物理学家非常愚蠢，他们从前并不是这样想的，可是，他们现在总算弄明白了情况就是这样。只要我们哲学家认识到了物理学家所遇到的问题是什么，我们立刻就会用大脑判断出，不留意外界的事物，就不可能判断一个人运动得有多快，并且就会对物理学做出巨大的贡献了。”这些哲学家总是伴随在我们左右，他们极力想要告诉我们一些事情，但是，他们从来没有真正地理解过这些问题的奥妙所在。

我们在洞察绝对运动时的无能为力是实验带来的一个结果，而不是朴素想法的结果，这一点我们很容易做出说明。牛顿本来就认为，假如一个人以均匀的速度沿着一条直线运动，他就不能判断自己运动得有多快。事实上，牛顿首先表述了相对性原理，而在前面一章中提到的引语就是牛顿的表述。那么，在牛顿的时代，哲学家们为什么根本就没有提出这种“一切都是相对的”，或者诸如此类的说法来喧哗一番呢？原因就是，直到麦克斯韦创立了电动力学理论之后，才有物理定律暗示，一个人可以不通过考察外界的事物就能测出自己的速度；实验上很快就发现这不可能做得到。

那么，一个人不留意外界就不能判断自己运动得有多快，这个结论是绝对的、明确的和在哲学上必然的吗？相对论的其中一个结果是一种

哲学的发展，这种哲学认为，“你只能定义你能够度量的事物！因为，如果一个人没有看着他相对于什么去测量，就不能测出速度来，这是不言而喻的，因此，谈论绝对速度毫无意义就再清楚不过了。物理学家早就应该认识到，他们只能谈论他们能够测量的东西。”可是，整个问题在于：人们能否定义绝对速度，以及如果不考察外界，人们能否在实验中察觉自己是否在运动，这两个问题是一样的。换句话说，一件事物是否是可测量的，结论并不是仅仅通过思维而先验地得到的，而只能由实验做出决定。给定光的速度是186000英里/秒这样一个事实，人们就会发现，几乎没有任何哲学家会平静地宣称：如果光在一辆汽车内以186000英里/秒传播，而汽车又正以100000英里/秒行驶，那么，光也是以186000英里/秒越过地面上的观察者传播，这是不言而喻的。这对他们来讲是一个令人震惊的事实；恰恰就是这些宣称“这是显而易见的发现”的人，当你告诉他们一个特定的事实时，他们就会宣称这并不是显而易见的。

最后，甚至还有这样一种哲学，它认为，除非通过考察外界的事物，否则无法察觉任何运动。这在物理学上就完全不对了。是的，人们确实感觉不到在一条直线上的匀速运动，但是，假如整个房间在旋转着，我们肯定会知道的，因为每个人都会被抛向墙壁——会有各种各样的“离心”效应。比如说，利用一种叫做傅科摆的仪器，地球绕轴自转这种运动无须观察星星就能被探测到。因此“一切都是相对的”这个断言并不正确；只有均匀的速度不考察外界才无法察觉。绕着一根固定轴的匀速的转动就能够被察觉到。如果把这个结论告诉一位哲学家，他就会因不能理解而感到心烦意乱，因为对他来说，人们不需要通过考察外界的事物就应该能够确定绕着一根轴的转动这件事似乎是不可能的。如果这位哲学家足够老练，那么，过了一段时间之后，他就有可能回过神来并且说道，“我明白了。我们确实没有绝对转动这种玩意儿；你知道吗，我们其实是在相对于星星旋转。因此，由星星施加在物体上的某种影响肯定会产生离心力。”

就我们目前所知，确实如此；目前我们还没有办法判断，假如周围没有星星和星云的话，是否还会存在离心力。我们没有能力去做这样一个实验，先移走所有的星云，然后再测量我们的旋转，因此，我们就是不知道。必须承认，这位哲学家可能是对的。因此，他回过神来，带着愉快的心情说道，“这个世界最终绝对需要变成这个样子：绝对的旋转毫无意义；它只是相对于星云而言的。”然后，我们就会对他说道，“那么，我的朋友，相对于星云的匀速直线运动不应该在一辆汽车内产生任何效应，这个结论是明显的还是不明显的呢？”既然运动不再是绝对的，而是相对于星云的运动，它就成了一个不可思议的问题，一个只能由实验来回答的问题。

那么，相对论对哲学的影响是什么呢？如果我们只是限制在这样一种意义上的影响，即相对性原理给物理学家带来了哪些新的观念和启示，那么，我们就可以讲一讲其中的一些影响。第一个发现主要是，即使那些长期以来一直保持有效并且已经被精确地检验过的观念都有可能是错误的。在经过了那么长久看似正确的年代之后，牛顿定律居然是错误的，这确实是一项令人震惊的发现。我们当然清楚，并不是实验错了，而是因为这些实验只是在一个有限的速度范围内做出来的，这些速度是如此之小，以至于相对论的效应一直不明显。尽管如此，我们现在对物理定律已经有了一种谦逊得多的观点——任何一件事物都可能是错的！

其次，如果我们有一套“奇特的”观念，比如说，当一个人运动时，时间流逝得较慢，如此等等，那么，我们是喜欢它们还是不喜欢它们，这是一个无关紧要的问题。惟一重要的问题是，这些观念是否与实验上的发现相符合。换句话说，这些“奇特的观念”只需要与实验相符合就行了，而我们不得不去讨论时钟的行为等问题的惟一的理由，就是要证明，虽然时间延缓的观念很奇特，但它却与我们测量时间的方式相协调。

最后，还有第三种启示，这种启示稍微多一点专业方面的成分，但最终却在我们研究其他物理定律时得到广泛的应用，这种启示就是，要考察物理定律的对称性，或者更明确地说，要找寻使物理定律经过变换之后仍然保持形式不变的方法。我们在讨论矢量理论时就注意到，当我们旋转坐标系时，基本运动定律并不改变，而现在我们又认识到，当我们以一种由洛伦兹变换提供的特别的方式改变空间和时间变量时，基本运动定律也不改变。于是，这个观念，即研究那些使基本定律保持不变的形式或者作用方式，已经被证明是一种非常有用的观念。

4-2　双生子悖论

为了继续有关洛伦兹变换和相对论效应的讨论，我们考虑一个著名的问题，叫做彼得和保尔的“悖论”，设想这两个人是同时出生的双胞胎。当他们长大到能够驾驶宇宙飞船的年龄时，保尔以非常高的速度驾驶飞船飞向远方。由于留在地面上的彼得看到保尔飞得这样快，因此，在他看来，保尔的所有的钟似乎都走得更慢，他的心跳变慢了，他的思维过程变慢了，所有的事情都变慢了。当然，保尔并没有注意到任何不正常的事情，不过，如果他四处漫游了一段时间之后回到地面，他就会比留在地面上的彼得年轻！实际上这是对的；它是相对论的其中一个推论，而相对论是已经被清楚地证明了的。正如μ子在运动时生存更长的时间一样，保尔在运动时也将活得更久。只有那些认为相对性原理就意味着所有的运动都是相对运动的人才把这个推论叫做“悖论”；他们说道，“嗨，嗨，嗨，从保尔的观点看，难道我们不可以认为彼得在运动，因此他看起来应该衰老得更慢吗？由对称性可知，惟一可能的结论是，当两人相会时，大家的年龄应该一样。”但是，为了让他们重逢并进行比较，保尔要么必须在旅途的终点停下来并且进行对钟，要么更简单一点，他必须回来，而回来的那个人必定是在运动的人，他知道这一点，因为他必须掉过头来。当他掉过头来时，各种不寻常的事情都在他

的宇宙飞船中发生了——火箭发射出去了，各种东西都被挤到舱壁上，如此等等——而彼得则一点也没有感觉到。

因此，这条规则应该这样说，感觉到加速度的那个人，看到了各种东西被挤到舱壁上等现象的那个人，如此等等，将是年轻一些的那个人；这就是他们两人在“绝对的”意义上的差别，而这肯定是正确的。当我们讨论运动的μ介子生存的时间更长这个事实时，我们利用它们在大气中的直线运动做例子。但是，我们也可以在实验室中制备μ介子，并且用一个磁场使它们沿着一条曲线运动，即使在这种加速运动中，它们的寿命的延长与在直线运动的情况下完全相等。虽然还没有任何人明确地安排过一个实验，使我们能够摆脱这个悖论，但是，人们可以把一个静止不动的μ介子与一个绕过整个圆周运动的μ介子做个比较，这样就肯定会发现，绕过一个圆周的那个粒子生存得更久。虽然我们实际上并没有用过一个完整的圆周进行实验，不过，其实并不需要这样做，这当然是因为，每一样事情都吻合得相当令人满意。对于那些坚持认为每一个单个的事例都要直接得到证实的人，这个例子也许不会令他们满意，不过，我们有充分把握来预言保尔做完整的一周运动这个实验的结果。

4-3　速度的变换

爱因斯坦的相对性和牛顿的相对性之间的主要差别是，把相对运动着的坐标系之间的坐标和时间联系在一起的变换规律不一样。正确的变化定律，即洛伦兹变换是

$$
\begin{aligned}
x' &= \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}}, \\
y' &= y, \\
z' &= z, \\
t' &= \frac{t-ux/c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}.
\end{aligned}
\qquad (4.1)
$$

这些方程对应于这样一种较为简单的情形，即两个观察者的相对运动是沿着他们的公共的x轴进行的。别的运动方向当然也是可能的，但是，最普遍的洛伦兹变换是相当复杂的，其中全部4个变量都混合在一起。我们将继续使用这种比较简单的形式，因为它包含了相对论的所有基本性质。

下面我们来讨论这个变换的更多的推论。首先，反解出这些方程是有意思的。更确切地说，这是一组线性方程组，4个方程有4个未知数，它们可以被反解出来，用x'，y'，z'，t'来表示x, y，z, t。结果非常有趣，因为它告诉我们，从一个“运动着”的坐标系上看，一个“处于静止”的坐标系是怎样的。当然，由于运动是相对的和匀速的，因此，“在运动”的那个人，如果他愿意的话，也可以认为，在运动的实际上是另一个人，而处于静止的是他自己。又由于这另一个人朝相反的方向运动，因此，他就应该得到相同的变换，但是速度的正负号要反过来。这正好就是我们通过数学推导得出的结果，因此，两者是一致的。如果得出的结果不是这样的话，那么，我们倒真的有理由要担忧了！

$$
\begin{aligned}
x &= \frac{x' + ut'}{\sqrt{1-u^2/c^2}},\\
y &= y',\\
z &= z',\\
t &= \frac{t' + ux'/c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}.
\end{aligned}
\tag{4.2}
$$

接下来我们讨论相对论中速度的合成这样一个有趣的问题。我们想到原先的一个难解之谜，光在所有参考系中都以186000英里/秒传播，即使这些参考系在做相对运动也是如此。以下要讲到的例子说明，这是更普遍的问题中的一个特殊的情形。设想在一艘宇宙飞船中有一个物体正以100000英里/秒的速度运动，而宇宙飞船本身则正以100000英里/秒飞行；在一个外部的观察者看来，宇宙飞船中的这个物体运动得有多快呢？我们也许应该说200000英里/秒，这比光速还快。这非常令人沮丧，因为不能想象物体会跑得比光还快！下面来讲普遍的问题。

我们假设，对飞船里的人来说，飞船内的物体正以速度v运动，而宇宙飞船本身相对于地面具有速度u。我们想知道，在地面上的人看来，这个物体以多大的速度v_x运动。这当然也还是一个运动沿着x方向进行的特殊情形。还有一个沿y方向的或者沿任意方向的速度的变换；这些都可以在需要时推导出来。在宇宙飞船内，速度是$v_{x'}$，这表示位移x'等于速度乘时间：

$$x' = v_{x'}t'. \tag{4.3}$$

我们现在只需要算出，在外部观察者看来，一个x'和t'之间满足关系式（4.3）的物体的位置和时间。这样，只要简单地把式（4.3）代入式（4.2）中就得到

$$x = \frac{u_{x'}t' + ut'}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}} \tag{4.4}$$

可是我们随即看到，x是用t'表示出来的。为了得出飞船外的人所看到的速度，我们必须用他的时间而不是用另一个人的时间去除他的距离！因此，我们还必须算出从飞船外所看到的时间，这个时间是

$$t = \frac{t' + u(v_{x'}t') / c^2}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}. \tag{4.5}$$

我们现在必须求出x与t之比，结果是

$$v_x = \frac{x}{t} = \frac{u + v_{x'}}{1 + uv_{x'} / c^2}, \tag{4.6}$$

已经把平方根消掉了。这就是我们寻找的规律：合成后的速度，即两个速度之“和”，并非正好是两个速度的代数和（我们知道不能这样，否则，我们就有麻烦了），而是被$1+uv/c^2$“修正”了。

下面让我们来看一看到底是怎么回事。假如你在宇宙飞船中正以一半光速的速度运动，而宇宙飞船本身也是以该速度飞行。这样，u和v都是$c/2$，而在分母中uv却是1/4，因此

$$v=\frac{\frac{1}{2}c+\frac{1}{2}c}{1+\frac{1}{4}}=\frac{4}{5}c.$$

这样看来，在相对论中，“一半”加上“一半”并不等于“1”，结果只等于“4/5”。当然，低速就可以用熟悉的方法相当容易地加起来，因为只要速度与光速相比是小的，我们就可以不考虑（$1+uv/c^2$）这个因子；但是，在高速下，事情就完全不同了，而且也相当引人入胜。

我们来考虑一种极限情形。纯粹为了好玩，假设宇航员正在宇宙飞船中观察光波本身。换句话说，$v=c$，而宇宙飞船还是在运动。在地面上的人看来会是怎样的呢？答案将会是

$$v=\frac{u+c}{1+uc/c^2}=c\frac{u+c}{u+c}=c.$$

因此，如果在飞船内有什么东西正以光速运动，那么，在地面上的人看来它还是以光速运动！这很好，因为它事实上就是爱因斯坦提出相对论的本来目的——由此可见，这个理论具有较好的成效！

当然，存在这样的情形，运动并不沿着匀速平移的方向。比如说，在飞船内可能会有一个物体正好相对于飞船以速度$v_{y'}$“向上”运动，而飞船则“水平地”飞行。下面，我们就来做同样的推导，只是要用y方向的量而不是x方向的量，所得的结果是

$$y = y' = v_{y'} t'$$

所以，如果$v_{x'}$=0，就有

$$v_y = \frac{y}{t} = v_{y'} \sqrt{1 - u^2 / c^2}. \qquad (4.7)$$

因此，横向速度不再是$v_{y'}$，而是$v_{y'}\sqrt{1-u^2/c^2}$了。我们通过将变换方程组做替换和组合而得出了这个结果，但是，由于以下的原因（再去探究一下我们是否能够明白这个原因总是好的），我们也能够直接从相对性原理看出这个结果。我们已经讨论过（图3-3）一个合理的时钟在运动时怎样工作；在静止的坐标系中看，光以速度c倾斜一个角度传播，而在运动的坐标系中看，光以同样的速度只是沿垂直方向运动。当时我们发现，在静止的坐标系中，速度的垂直分量比光速小一个因子$\sqrt{1-u^2/c^2}$参见方程（3.3）]。不过，现在我们假设，让一个实物粒子在这同一个“时钟”内往返运动，只是其速度是光速的某个整分数1/*n*（图4-1）。于是，当粒子走完了一个来回时，光正好走完*n*个来回。这就是说，“粒子”钟的每一次“滴答”声将与光钟的第*n*次“滴答”声重合。这个事实在整个系统运动时必定还是正确的，因为重合这个物理现象在任何参考系中都将是一个重合的现象。因此，由于速度c_y小于光速，粒子的速度v_y就必定比对应的速度小同一个平方根因子！这就是平方根之所以会出现在所有垂直速度中的原因。

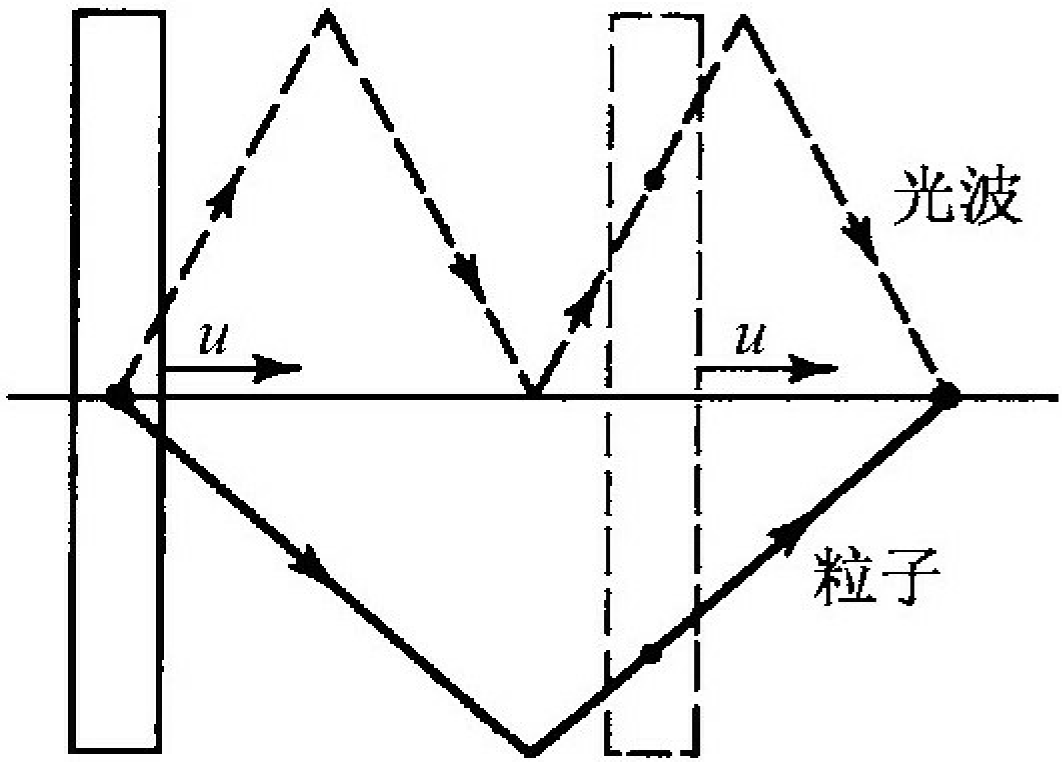


图4-1　在一个运动时钟内，一根光线和一个粒子描出的轨迹

4-4　相对论性质量

我们在上一章中认识到，物体的质量随着速度的增加而增加，但是，我们并没有像论证时钟的行为那样对此做过论证，从这个意义上说，我们并没有给出上述结论的任何说明。然而，我们能够证明，作为相对性原理和其他几个合理的假定的结果，质量必定按照这样的方式改变。（假如我们希望做有意义的推论，就不得不说“其他几个假定”这句话，因为，除非我们拥有某些假定为正确的定律，否则我们不可能证明任何结论。）为了避免研究力的变换定律，我们将分析一个碰撞问题，在这个问题中，除了假定动量和能量守恒之外，我们不需要知道关于力的任何定律。我们还要假定，运动粒子的动量是一个矢量，并且总是指向速度的方向。不过，我们将不再像牛顿那样，假定动量是一个常数乘以速度，而只是假定它是速度的某个函数。因此，我们把动量矢量写成

某个系数乘以速度矢量：

$$\boldsymbol{p}=m_v\boldsymbol{v}. \tag{4.8}$$

我们在系数中写上一个下标v以提醒自己，这是一个速度的函数，并一致把这个系数m_v叫做“质量”。当然，如果速度很小，它与那个通常在慢速运动的实验中测量到的质量是一样的。下面，我们将尝试从相对性原理，即物理定律在各个坐标系中必定相同，来论证m_v的表达式必定是$m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$。假定有两个粒子，比如两个质子什么的，它们完全相同，并且以完全相等的速度彼此朝向对方运动。他们的总动量等于零。那么会发生什么事情呢？碰撞之后，它们的运动方向必定正好彼此相反，因为如果它们不是正好相反的话，就会存在一个非零的总动量矢量，而动量就不再守恒。它们还必定具有相等的速率，因为它们是完全一样的实体；事实上，它们必定具有与开始运动时同样的速率，因为我们假定在这些碰撞中能量是守恒的。所以，一个弹性碰撞，即可逆的碰撞，其示意图就会如图4-2（a）所示那样：所有的矢量长度相同，所有的速率相等。我们将假定，这样的碰撞总是能够安排下来的，任何角度θ都有可能发生，并且，在这样一种碰撞中，任何速率都可以用到。接下来我们注意到，同样这个碰撞可以通过坐标系的转动从不同的角度去观察，而正是为了方便起见，我们将把坐标系转到这样一个方位，使它的横轴将两个运动平均分开，如图4-2（b）所示。这是重新画出来的同一个碰撞的示意图，只不过把坐标轴转了个方向而已。

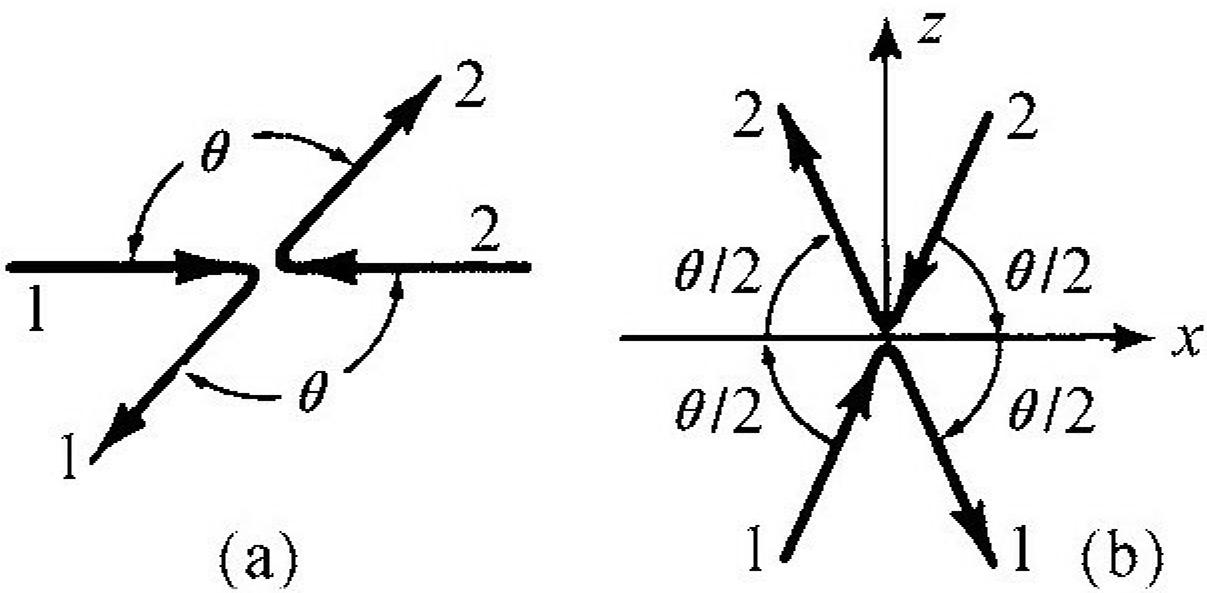


图4-2　两个相同的物体之间弹性碰撞的两种视图，这两个物体正以相同的速率朝相反的方向运动

真正的技巧在于：让我们从某个观测者的角度来看看这个碰撞，这个观测者乘坐在一辆往前行驶的汽车中，这辆汽车的速度等于某个粒子的速度的水平分量。结果，这个碰撞看起来怎样呢？它看起来就好像第一个粒子正好笔直地向上运动，因为它的速度已经没有水平分量了，接着它又笔直地向下运动，也是因为它的速度没有水平分量。这就是说，这个碰撞看起来就如图4-3（a）所示那样。然而，第二个粒子却正以另一种方式运动，当我们乘车而过时，它看起来就好像以某个惊人的速度成一个较小的角度飞逝而过，但是，我们能够意识到，碰撞前和碰撞后的角度是相等的。让我们用u标记第二个粒子的速度的水平分量，用w标记第一个粒子的垂直速度。

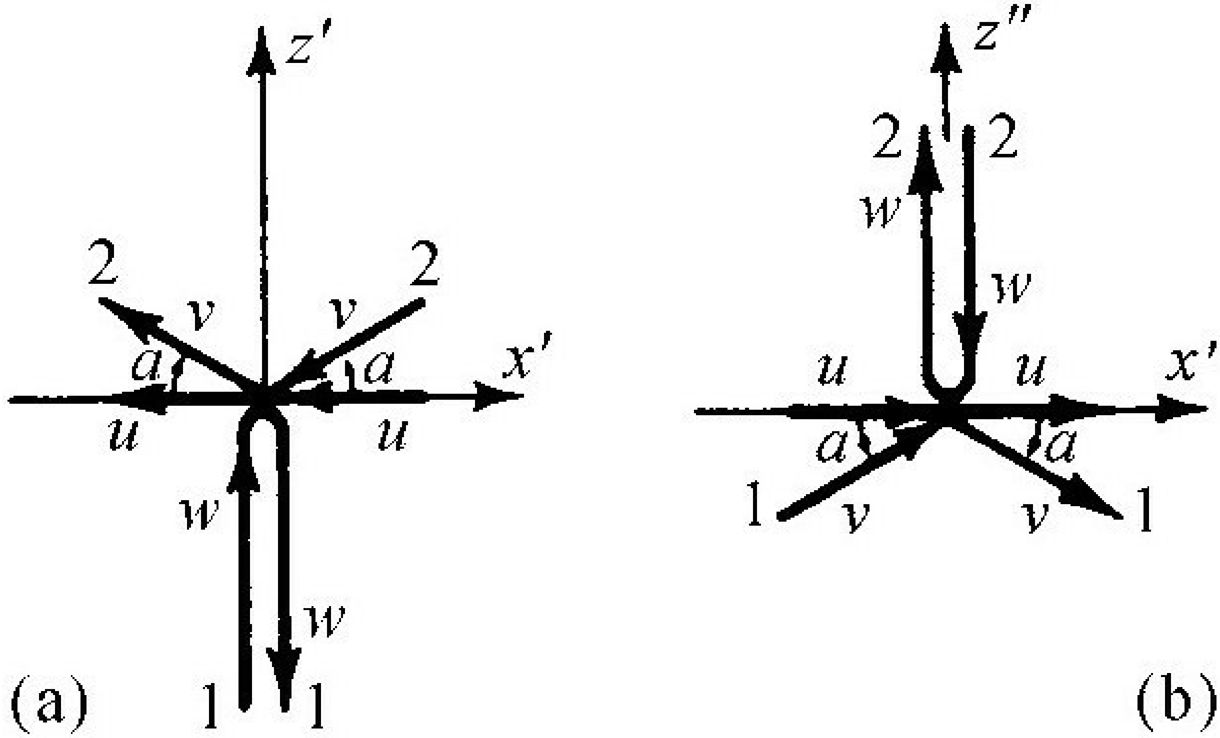


图4-3　从运动的汽车上去看碰撞的另外两种视图

下面的问题是，垂直速度$u\tan\alpha$等于什么？如果我们知道这个量的话，就可以利用垂直方向上动量守恒的规律得到动量的正确的表达式。显然，动量的水平分量是守恒的：两个粒子在碰撞之前和碰撞之后的动量是相等的，而对第一个粒子来说这个量等于零。因此，我们只需要将守恒定律用到向上的速度$u\tan\alpha$。但是，我们可以通过用另一种方式观察这同一个碰撞来得到向上的速度！如果我们从一辆（相对于第一个粒子）以速率u向左运动的汽车上观察图4-3（a）所示的碰撞，那么，我们看到同一个碰撞，只是如图4-3（b）所示的那样“颠倒”了。现在，第二个粒子是那个以速率w上下运动的粒子，而第一个粒子有了水平的速率u。当然，我们现在知道速度$u\tan\alpha$等于什么了，它就是：$w\sqrt{1-u^2/c^2}$[参见公式（4.7）]。我们知道，做垂直运动的粒子的垂直动量的改变是

$$\Delta p = 2m_w w$$

（因子2是因它上下运动引起的）。那个斜向运动的粒子具有某个速度v，我们已经知道它的分量是u和$w\sqrt{1-u^2/c^2}$，而它的质量则是m_v。因此，这个粒子的垂直动量的改变就是$\Delta p'=2m_v w\sqrt{1-u^2/c^2}$，因为，根据我们假定的规则（4.8），动量的分量总是等于与速度的数值相对应的质量乘速度在所考虑的那个方向的分量。这样，为了使总动量等于零，垂直方向的动量必定相抵消，于是，以速率w运动的质量和以速率v运动的质量之比必定等于

$$\frac{m_w}{m_v}=\sqrt{1-u^2/c^2}. \qquad (4.9)$$

我们来考虑w是无穷小的极限情形。如果w的确非常小，那么显然v和u实际上是相等的。在这种情况下，$m_w \to m_0$，还有$m_v \to m_u$。于是得到一个重要的结果

$$m_u=\frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}}. \qquad (4.10)$$

下面做一个有趣的练习，假定公式（4.10）是质量的正确表达式，检查一下公式（4.9）在任意的w值时是否确实成立。注意在公式（4.9）中要用到的速度v可以通过直角三角形来计算：

$$v^2=u^2+w^2(1-u^2/c^2).$$

虽然我们刚才只是在小w的极限时使用这个公式，但我们将发现它是不言自明的。

那么，让我们接受动量守恒和质量按照（4.10）式依赖于速度这两个结论，并继续考察我们还能得到别的什么结论。我们来考虑一种通常

叫做非弹性碰撞的现象。为了简单起见，假定有两个以相等速率*w*朝相反方向运动的同类物体，它们如图4-4（a）所示那样相互碰撞后黏在一起，变成某个新的静止的物体。每一个物体相应于*w*的质量*m*，正如我们所知，等于$m_0/\sqrt{1-w^2/c^2}$。如果假定动量守恒和相对性原理成立，那么，就能够说明一个有趣的、与这个新形成的物体的质量有关的事实。设想一个与*w*成直角的无穷小的速度*u*（我们可以用有限的*u*值做同样的处理，不过，用一个无穷小的速度更容易理解），然后，在一部速度等于-*u*的电梯上考察这同一个碰撞。我们所看到的现象如图4-4（b）所示。复合物体具有一个未知的质量*M*。现在，第一个物体以一个向上的速度分量*u*和一个实际上等于*w*的水平速度分量运动，第二个物体也一样运动。碰撞之后，就得到以速度*u*向上运动的质量*M*，假定这个速度*u*与光速相比是非常小的，与*w*相比也是很小的。动量必须守恒，因此，我们来估计一下碰撞之前和碰撞之后沿着向上方向的动量。在碰撞之前，我们有$p\approx 2m_w u$，而在碰撞之后，动量显然是$p'=M_u u$，不过，因为*u*是如此之小，所以M_u基本上与m_0一样。由于动量守恒，所以，这些动量必定相等，因此便有



图4-4　质量相同的物体之间的非弹性碰撞的两种视图

$$M_0=2m_w. \qquad (4.11)$$

由两个相同的物体碰撞而形成的物体，其质量必定是相互碰在一起的物体的质量的两倍。大家也许会说，“是的，当然是这样的，这就是质量守恒嘛。”可是，这并不是那么容易就“当然是这样的”，因为，与它们

静止不动时应该具有的质量相比，这些质量已经增大了，尽管如此，它们仍然有贡献，但是，对总的M来说，它们所贡献的并不是处于静止时具有的质量，而是更多。这看起来也许非常令人惊讶，为了使两个物体相互碰撞时动量守恒有效，即使这两个物体在碰撞后停了下来，它们结合后的质量也必定大于这两个物体的静质量！

4-5 相对论性能量

在上一章中我们证明了，作为质量依赖于速度和牛顿定律两者的结果，由力对一个物体做的总功导致的动能的改变总是

$$\Delta T=(m_u-m_0)c^2=\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}-m_0c^2. \tag{4.12}$$

我们甚至更深入了一步，推测总能量是总质量乘c^2。下面我们继续这个讨论。

假定从M的内部仍然可以“看见”那两个相互碰撞的等质量物体。比如说，一个质子和一个中子被“黏在一起”，但仍然在M的内部游动。于是，虽然我们开始时可能认为质量M等于$2m_0$，但是，我们已经知道了它并不是$2m_0$，而是$2m_w$。由于$2m_w$是加进去的质量，而$2m_0$则是里边的东西的静质量，因此，复合物体的多余的质量就等于被带进去的动能。这当然就意味着能量具有惯性。在上一章中，我们讨论过一罐气体的加热，并说明了由于气体分子在运动，而运动的东西更重，当我们将能量输入气体中时，它的分子就运动得更快，因此气体就会变得更重。不过，事实上这种论证完全是一般性的，而我们关于非弹性碰撞的讨论表明，无论是不是动能，这些质量都是存在的。换句话说，如果两个粒子碰在一起并产生势能或者任何其他形式的能量；如果这两部分由于攀

越势垒、克服内力做功等原因而慢下来；那么，质量等于加进去的总能量这个说法仍然是正确的。这样，我们就看到，我们在前面已经导出的质量守恒就等价于能量守恒，因此，严格地说，在相对论中并不存在牛顿力学中的那种非弹性碰撞。根据牛顿力学，两个物体碰撞后形成一个质量为$2m_0$的物体是毫无疑问的，它与把这两个东西慢慢地放在一起所形成的物体无任何区别。当然，我们从能量守恒定律中知道，新形成的物体的内部有更多的动能，但是，根据牛顿定律，这并不影响质量。不过，我们现在看到，这是不可能的；由于碰撞中包含了动能，结果，所产生的物体将更重；因此，它将是一个不同的物体。当我们慢慢地将两个物体放在一起时，它们形成一个质量等于$2m_0$的东西；当我们使劲将它们推到一起时，它们形成一个质量更重的东西。如果质量不同，我们就能断定那是不一样的东西。因此，在相对论中，能量守恒必然伴随着动量守恒。

上述情况有一些有趣的推论。举例来说，假定我们有一个物体，已经测出其质量等于M，设想发生了一件什么事情，使这个物体突然分解成两块以速度w运动的大小相同的碎片，这样，每一块碎片就具有质量m_w。现在设想，这些碎片遇到了足够多的物质，使得它们减慢直到停下来；这时，它们将具有质量m_0。当它们停下来的时候，它们将会给这些物质多少能量呢？根据我们在前面已经证明了的法则，每一块碎片都将提供（m_w-m_0）c^2这么多能量。这么多的能量以某种形式如热、势能或者别的什么形式留在这些物质中。在上述情况下，$2m_w=M$，于是，被释放出来的能量就是$E=$（$M-2m_0$）c^2。举例来说，这个公式曾经被用来估计在原子弹的裂变中有多少能量被释放出来（虽然许多碎片并不正好相等，但它们是几乎相等的）。铀原子的质量是已知的——事先已经被测定过——它裂变产生的原子碘和氙等质量都是已知的。这里说到的质量，并不是指当原子在运动时的质量，而是指当它们处于静止时的质量。换句话说，M和m_0都是已知的。将这两个数相减，就可以计

算出，如果M能够被分成“两半”的话，将有多少能量被释放出来。由于这个原因，可怜的爱因斯坦老头儿就一度被所有的报纸叫做原子弹之“父”。当然，所有这些只是意味着，如果我们告诉他将要发生什么过程，那么，他就可以事先告诉我们有多少能量会被释放出来。一个铀原子发生裂变时将要释放出来的能量，在第一次直接试验之前大约6个月就被估计出来了，而在能量实际上被释放出来的当下，就有人直接做了测量（假如爱因斯坦的公式不起作用，那么，他们无论如何也要测量能量），一旦他们把能量测量出来，就不再需要这个公式了。当然，我们不应该贬低爱因斯坦，而是应该批评报纸以及许多通俗文章对于在物理学和应用科学的发展中到底是哪一个促成哪一个这个问题的描写。至于怎样使事情以有效的和迅速的方式出现，这就完全是另一回事了。

上面的结果在化学上同样有效。举例来说，如果我们称一下二氧化碳分子的重量，并把它的质量与碳和氧的分子的质量做比较，就能计算出，当碳和氧化合形成二氧化碳时，有多少能量会被释放出来。这里惟一的麻烦是，质量的差异是如此之小，以至于在技术上非常难以做到。

现在，让我们转到这样一个问题，我们是否应该把m_0c^2加到动能中，并从现在开始认为，一个物体的总能量是mc^2。首先，如果我们仍然能够在M内观察静质量为m_0的组成部分，那么，我们就可以说，在复合物体的质量M中，一部分是它的各个组成单元的力学意义下的静质量，一部分是各个组成单元的动能，还有一部分是各个组成单元的势能。不过，我们已经发现，对大自然中经历上述类似反应的各种粒子，尽管世界各国做了大量的研究，还是未能看到其内部的组成单元。比如说，当1个K介子衰变成2个π介子时，就是根据公式（4.11）给出的规律进行的，但是，1个K介子由2个π介子组成这样的想法是一个毫无价值的想法，因为它也衰变成3个π介子！

因此，我们有一种新的观念：我们不需要知道物体的内部由什么构

成；我们不能够也不需要区分，在一个粒子的内部，到底哪一部分能量是它的衰变产物的静能。将一个物体总的mc^2能量分开成内部结构的静能，这些结构的动能以及它们的势能是不方便的，而且常常是不可能的；取而代之的是，我们只是谈论粒子的总能量。我们通过向每一件东西加入一个常数m_0c^2来“改变能量的零点”，并认为，一个粒子的总能量等于动质量乘c^2，而当物体静止时，能量就是静质量乘c^2。

最后，我们发现速度v、动量P和总能量E以一种很简单的方式联系起来。相当令人惊讶的是，以速度v运动的质量等于静质量m_0被$\sqrt{1-v^2/c^2}$除这个公式很少被用到。取而代之的是，下面的两个关系很容易证明：

$$E^2-P^2c^2=m_0^2c^4 \tag{4.13}$$

以及

$$Pc=Ev/c. \tag{4.14}$$

而且最终发现它们原来非常有用。



第五章
空间和时间

5-1　时空几何学

相对论向我们表明，在一个坐标系中测量到的位置和时间，以及在另一个坐标系中所测量到的，两者之间不再是我们的直觉观念所预期的那种关系。透彻地理解洛伦兹变换中隐含着的空间和时间的关系是非常重要的，因此，我们在本章中将更深入地考察这个问题。

一位“静止不动的”观察者所测量到的坐标和时间（x,y，z,t），以及在以速度u飞行的“运动着的”宇宙飞船内测量到的相应的坐标和时间（x'，y'，z'，t'），两者之间的洛伦兹变换是

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}}, \\ y' &= y, \\ z' &= z, \\ t' &= \frac{t-ux/c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}. \end{aligned} \tag{5.1}$$

我们把这组方程与方程组（1.5）做个比较，方程组（1.5）也把两个坐标系的测量结果联系起来，在那里，其中一个坐标系相对于另一个坐标系做转动：

$$\begin{aligned} x' &= x\cos\theta + y\sin\theta, \\ y' &= y\cos\theta - x\sin\theta, \\ z' &= z. \end{aligned} \tag{5.2}$$

在这个特别的情形中，莫和乔进行测量所使用的坐标系在x'轴和x轴

之间有一个夹角θ。在每一种情况下，我们都注意到“带撇的”量是“不带撇的”量的“组合”：新的x'是x和y的组合，而新的y'也是x和y的组合。

做一个类比是有帮助的：当我们观察一个物体时，有一个显而易见的性质，可以称之为“视宽度”，还有一个性质，可以称之为“深度”。但是，宽度和深度这两个概念并不是物体的基本性质，因为，如果我们走到一旁，从一个不同的角度观察同一个物体，就会得到不同的宽度和不同的深度，而且，我们可以导出一些公式，用来从原来的量和所涉及的角度计算新的量。方程组（5.2）就是这样一个公式。人们可能会认为，一个给定的深度是所有深度和所有宽度的一种“组合”。假如物体是永远不能动的，而且我们总是从同一个位置观察一个给定的物体，那么，这整件事情就完全不一样了——我们将总是看到“真实的”宽度和“真实的”深度，而且，它们看起来似乎具有完全不同的性质，因为一个量表现为对着视角方向的弦，而另一个量则涉及眼睛的聚焦甚至直觉；它们似乎是完全不同的量，并且永远不会被混起来。正是由于我们能够四处活动，因此才会认识到，从某种意义上说，深度和宽度只不过是同一事物的两个不同的方面。

难道我们不能以同样的方式看待洛伦兹变换吗？在这里也存在某种组合——位置和时间的组合。空间度量和时间度量之间的差异产生出一个新的空间度量。换句话说，某个观测者的空间度量，在另一个观测者看来，搀进了一些时间。上述的类比使我们产生这样的想法：由于某种原因，我们正在考察的物体的“真实性”（粗略地、直观地说）并不仅仅是它的“宽度”和“深度”，原因就是，这些属性到底怎样，取决于我们如何去观察它；当我们移到一个新的位置时，我们的头脑就会立刻重新计算它的宽度和深度。但是，当我们高速度运动时，我们的头脑并不会立刻重新计算坐标和时间，因为我们还没有任何以接近光速运动的实际经验去理解时间和空间也具有相同的本性这个事实。这就好比我们总是站在这样一个位置上，只能看到某个物体的宽度，不能以这样或那样的方

式略微动一动脑袋；我们现在明白了，如果我们能够这样做的话，我们就应该看到另一个观察者的一些时间了——比如说我们会看到“推迟”一点的时间。

因此，我们将尝试在一种新的空间和时间混合在一起的世界中思考客观事物，这就好比物体在我们这个普通的空间世界中是真实的，而且能够从不同的方向去观察它一样。我们将认为，占有空间并持续一段时间的客观事物在新的世界中占有一个“小块”，而当我们以不同的速度运动时，就是从不同的角度去观察这个“小块”。这个新的世界是这样一个几何实体，其中每一个“小块”都通过占有位置并占据一段时间而存在，我们把这个几何实体叫做时空。在时空中，一个点（x, y，z, t）叫做一个事件。例如，设想在水平方向画出x轴，在另外两个方向画出y轴和z轴，它们两两互成“直角”并与纸面成“直角”，而在竖直方向画出时间轴。那么，在这样一个图上，比如说一个运动的粒子看起来会怎样呢？假如粒子是静止的，那么，它就具有一个确定的x，而随着时间流逝，它具有的x值不变；因此，它的“轨迹”就是一条平行于t轴延伸的直线[图5-1（a）]。另一方面，如果它慢慢地向外移动，那么，x就随着时间流逝而增加[图5-1（b）]。因此，比如说一个开始时向外运动并逐渐慢下来的粒子就会具有类似于如图5-1（c）中显示的那种运动。换句话说，一个永远不变的和不衰变的粒子在时空中用一条线来表示。一个衰变的粒子将用一条有分叉的线表示，因为它会从分叉点开始变成两个别的东西。

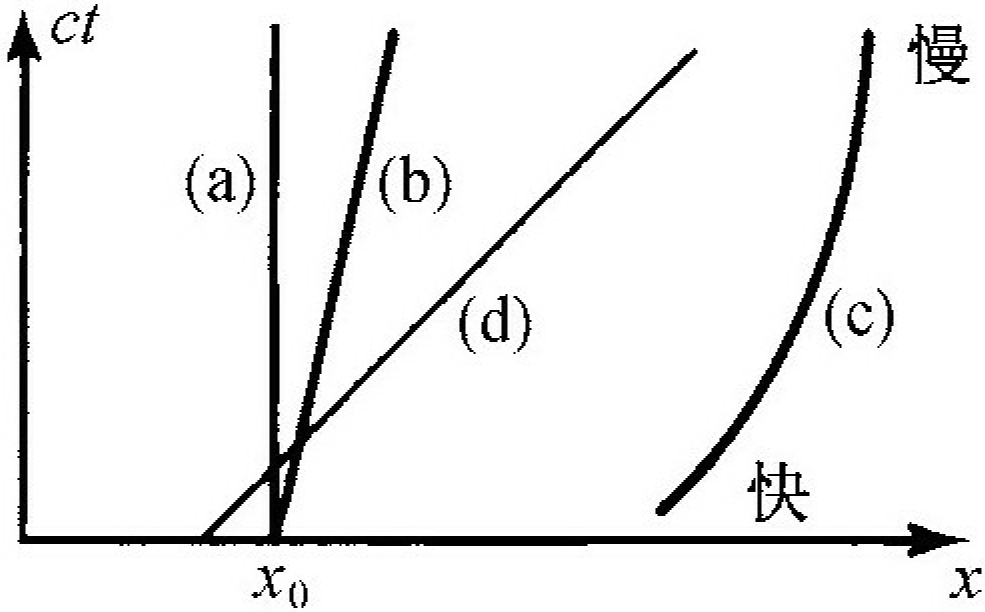


图5-1　三个粒子在时空中的轨迹：（a）一个静止于$x=x_0$处的粒子；（b）一个以恒定速度从$x=x_0$处开始运动的粒子；（c）一个以高速开始做减速运动的粒子

光波怎样呢？光波以速度*c*传播，而这将由一条具有确定斜率的直线表示[图5-1（d）]。

现在，按照我们的新概念，假如一个粒子经历了某个事件，比如说，假如它在某个时空点上突然衰变成两个沿着某些新的轨迹运动的新粒子，而且这个有趣的事件发生在某个*x*值和某个*t*值处，那么，我们就会预期，如果这有任何意义的话，只需要取一对新的坐标轴，并把它们转动一下，在这个新的坐标系中，我们就会得到新的*t*和新的*x*，如图5-2（a）所示。但这却是错的，因为方程组（5.1）与方程组（5.2）并不是完全相同的数学变换。要注意，比如说，这两组方程之间正负号的差别，还有，一组方程用cosθ和sinθ表示，而另一组方程则用代数量表示。（当然，将代数量写成余弦和正弦的形式并非不可能，但是，它们实际上不能这样写。）不过，这两组表达式还是非常相似。正如我们将要看到的，并非真的能把时空想象成一个真实的、普通的几何实体，原因就在于正负号的差别。事实上，虽然我们不会强调这一点，但结果证

明，一个运动着的观察者必须使用一套与光线成相同倾角的坐标轴，用一种平行于x'轴和t'轴的特殊的投影方法得出他的x'和t'，如图5-2（b）所示。我们将不讨论这种几何学问题，因为这并没有多大的帮助；使用数学公式做研究更加容易一些。

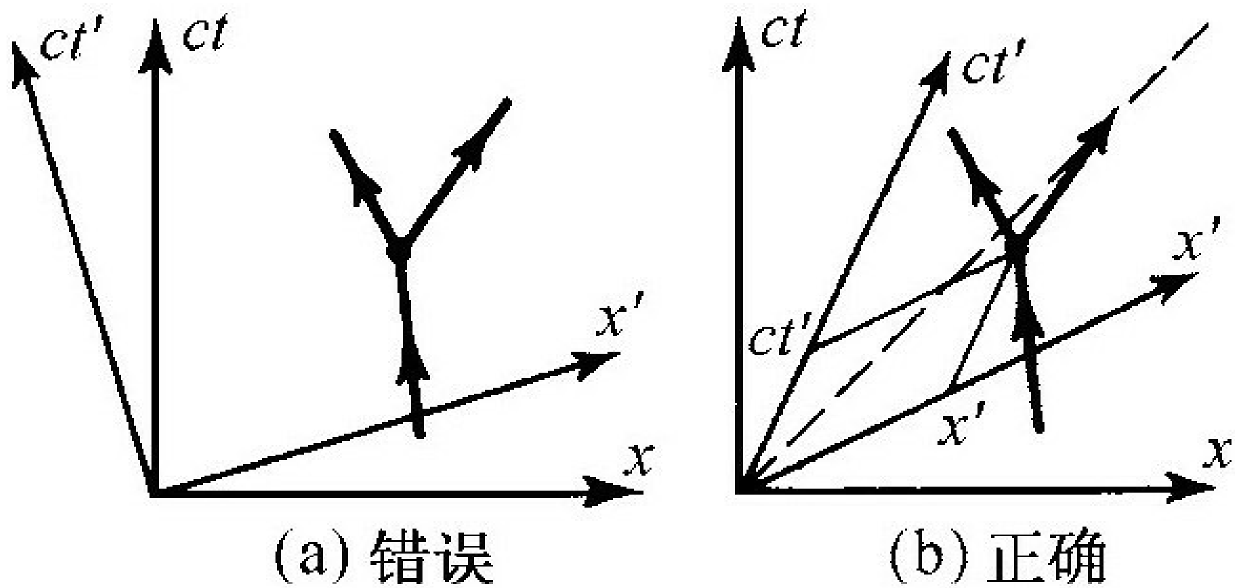


图5-2　一个正在衰变的粒子的两种视图

5-2　时空间隔

虽然时空几何并非通常意义下的欧几里得几何，但是，有一种与之非常相似的几何学，只是在某些方面显得有些奇特。如果这种几何学的概念是正确的，就应该存在一些与坐标系无关的坐标和时间的函数。比如说，在普通的旋转下，如果我们取两个点，为了简单起见，一个点取在原点处，而另一个点则在别的某个位置，两个坐标系具有相同的原点，那么，在两个坐标系中看，从原点到另一个点的距离是一样的。这是一个与测量距离的特殊方法无关的性质。距离的平方是$x^2+y^2+z^2$。时空几何的情况又怎样呢？不难证明，我们在这里也有某种保持不变的东西，那就是，$c^2t^2-x^2-y^2-z^2$这个组合在变换之前和变换之后是相同

的：

$$c^2t'^2-x'^2-y'^2-z'^2=c^2t^2-x^2-y^2-z^2. \qquad （5．3）$$

因此，在某种意义上，这个量像距离一样是某种“真实的”东西；我们把它叫做两个时空点之间的间隔，在这个例子中，其中一个点在原点上。（当然，它实际上是间隔的平方，正如$x^2+y^2+z^2$是距离的平方一样。）因为它是在一种不同的几何中的量，所以我们给它起一个不同的名字，不过，惟一令人感兴趣的事情是，有几个正负号是相反的，而且有一个c因子在其中。

让我们把c去掉；如果我们打算找一个x坐标和y坐标可以相互交换的奇妙的空间，那真是一个荒唐的行为。一些没有经验的人可能会引起的混淆之一是，比方说，通过物体对眼睛的张角来判断宽度，而用一种不同的方法，例如聚焦所需要的肌肉的张力，来判断深度，这就好像用英尺来度量深度而用米来度量宽度一样。于是，在做像（5.2）式这样一类变换时，就会被变换方程搞得一塌糊涂，就会因为非常简单的技巧上的原因而看不到事情的清晰性和简单性，这个原因就是，相同的量用两种不同的单位来度量。现在，大自然用方程组（5.1）和（5.3）告诉我们，时间和空间是等价的；时间变成了空间；它们应该用相同的单位来度量。1“秒”有多远的距离呢？从（5.3）式很容易计算出有多远。是3×10^8米，即光在1秒内传播的距离。换句话说，如果我们打算用相同的单位“秒”来度量所有的距离和时间，那么，距离的单位就是3×10^8米，而方程式就会更简洁。另一个可以使单位相同的方法就是用米来度量时间。时间上的1米有多长呢？时间上的1米就是光传播1米所需要的时间，因而就是$1/3\times10^{-8}$秒，或者1秒的10亿分之3.3！换句话说，我们希望在$c=1$这种单位制下写出全部方程。如果时间和空间像前面所暗示的那样都用相同的单位来度量，那么，方程组就明显地精简得多了。这些

精简了的方程是

$$
\begin{aligned}
x' &= \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2}}, \\
y' &= y, \\
z' &= z, \\
t' &= \frac{t-ux}{\sqrt{1-u^2}},
\end{aligned}
\qquad (5.4)
$$

$$
t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = t^2 - x^2 - y^2 - z^2. \qquad (5.5)
$$

我们是否会担心，或者“害怕”使用了c=1这个单位制之后，再也不能把方程组恢复原貌呢，答案正好相反。记住不写出c的方程组要容易得多，而通过对量纲做分析，总是很容易把c放回原处。比如说，在$\sqrt{1-u^2}$中，我们知道不可能用纯粹的数字1去减有单位的速度平方，因此，我们就会知道，为了使这一项没有单位，必须用c^2去除u^2，这就是把方程变回原样的方法。

时空与普通空间之间的区别，以及与距离有关的间隔的特性是非常有意思的。根据公式（5.5），如果我们考虑在给定的坐标系中时间为零，只有空间坐标的一个点，那么，间隔的平方就是负的，我们就会得到一个虚的间隔，即一个负数的平方根。在相对论中，间隔既可以是实数也可以是虚数。一个间隔的平方既可以是正数也可以是负数，这与距离不一样，它的平方是正数。当一个间隔是虚数时，我们说两点之间有一个类空的（而不说是虚的）间隔，原因就是，这个间隔更像空间而不像时间。另一方面，如果两个物体在一个给定的坐标系中处于同一个地点，而只有时间不一样，那么，时间的平方是正数，而且距离是零，结果，间隔的平方是正数；这种间隔叫做类时的间隔。因此，在我们的时空图中就会有类似于这样的表示：在45°的方位上有两条直线（实际

上，在四维中它们就是“圆锥面”，叫做光锥），在这两条直线上的点与原点的间隔都等于零。从某个给定的点发出的光与发光点的间隔总是零，正如我们从方程（5.5）看到的那样。顺便说一下，我们刚才已经证明了，如果在一个坐标系中光以速度*c*传播，那么，在另一个坐标系中它也以速度*c*传播，因为，如果间隔在两个坐标系中是相同的，即在一个坐标系中等于零，在另一个中也等于零，那么，说光的传播速度不变就等同于说间隔等于零。

5-3　过去、现在和未来

在一个给定的时空点的周围，时空区可以被分割成三个区域，如图5-3所示。一个区域中的间隔是类空间隔，另外两个区域中的间隔是类时间隔。从物理学的角度看，由一个给定点周围的时空划分成的这三个区域与该点之间有一种有趣的物理联系：一个物理客体或者一个信号能够以小于光速的速率从第二个区域中的某个点到达事件*O*处。因此，在这个区域中的事件能够影响到*O*点，也能够从过去对其产生影响。当然，事实上一个在负*t*轴上处于*P*点的物体相对于*O*点而言正处于“过去”；它与*O*点是同一个空间点，只不过早些时候罢了。当时在那里发生过的事情，现在影响到*O*点。（遗憾的是，生活就是这样展开的。）在Q点的另一个物体能够以某个小于c的速率运动而到达*O*点，因此，如果这个物体处于一艘运动的宇宙飞船中，那么，它也将是该空间点的过去。更确切地说，在另一个坐标系中，时间轴可以通过*O*和Q这两个点。于是，在第二个区域中，所有的点都处于*O*点的“过去”，发生在这个区域中的任何事情都能够影响到*O*点。因此，第二个区域有时就叫做有影响的过去，即能够影响现在的过去；所有能够以任何方式影响*O*点的事件都发生在这里。

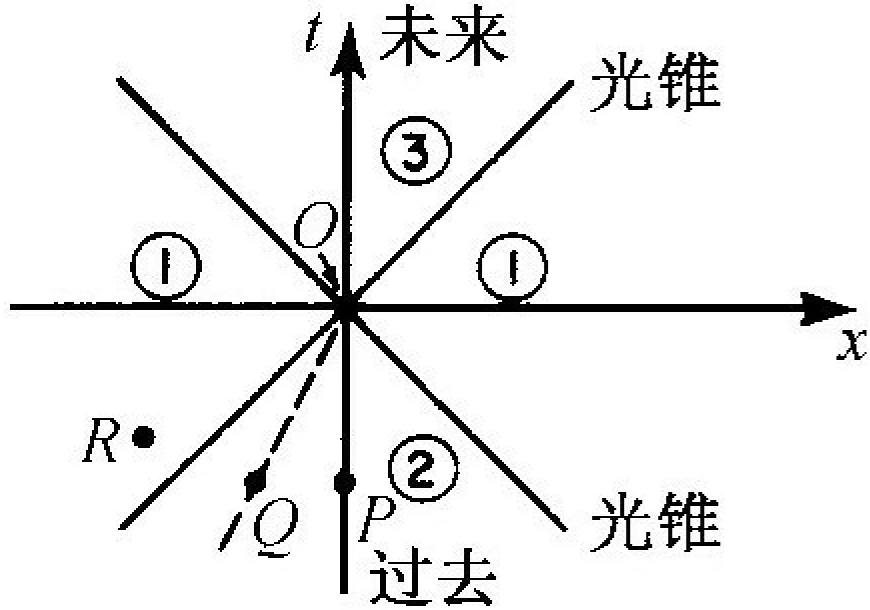


图5-3　原点周围的时空区域

另一方面，第三个区域是这样一个区域，我们可以从*O*点对其施加影响，在这个区域中，以小于*c*的速度射出的“弹丸”能够“击中”目标。因此，这是一个其未来能够受我们影响的世界，我们可以把这个区域叫做受影响的未来。现在还剩下时空的其余部分，即第一个区域，关于这个区域，令人感兴趣的事情是，我们既不能现在从O点影响它，它也不能影响现在处于*O*点的我们，因为没有任何东西能够跑得比光更快。当然，在*R*点发生的事情能够在稍后影响我们，这就是说，假如太阳“此刻”正在爆炸，那么，需要过8分钟我们才会知道这件事情，在这个时刻之前它不可能影响到我们。

我们用“此刻”这个词表示这样一种神秘的事情，我们既不能对其做出定义，也无法对其施加影响，但是它却能够在稍后影响我们，或者，假如我们在足够早的过去做过某件事情，就有可能已经影响它了。当我们观察半人马座α这颗恒星时，看到的是它4年前的样子；我们也许想知道它“现在”像个什么样子。“现在”指的是，从我们这个特殊的坐标系中看处于同一时刻。我们只能从我们的过去，即4年前，从半人马座α发出

的光中来看它，但是，我们并不知道“现在”在那里发生着什么事情；在那里，“现在”所发生的事情需要等待4年才能对我们产生影响。半人马座α的“现在”只是我们头脑中的一个观念或者概念；它并不是在此时此刻从物理上可以真正定义的东西，因为我们必须等着去观测它；我们甚至不能就在“此刻”定义它。此外，“现在”取决于坐标系。例如，假定半人马座α正在运动，一个在那里的观测者就不会赞同我们的说法，因为他要把他的坐标轴指向某一个角度，而他的“现在”将会是一个不同的时刻。我们已经讨论过有关同时性并不是惟一的这个事实。

有那么一些占卦算命的人，也就是那些告诉我们说他们能够预知未来的人，还有许多讲述某人突然发现自己具有预知未来的本领的神奇故事。唉，这就产生出许许多多自相矛盾的事情来了，因为，假如我们预知某件事情将要发生，那么，我们就肯定能够在适当的时间采取适当的措施去避免它，如此等等。可是，实际上甚至没有任何一个算命先生能够告诉我们现在怎么样！没有任何人能够告诉我们在任何合理的范围内此时此刻正在发生什么事情，因为那是不能观测的。我们可以向自己提出这样一个问题（这个问题将留给学生去尝试回答）：假如突然变得有可能预知处于第一个区域（即类空区）内的事件，这会产生什么自相矛盾的事情吗？

5-4　四维矢量的进一步讨论

下面，我们回到考察洛伦兹变换与空间坐标旋转的类比这个问题中去。我们已经学过这样一个方法，将与坐标具有相同变换性质的其他若干个量组合起来，构成所谓的矢量，即有向线段。就普通的旋转而言，有许多量的变换方式与x，y和z在旋转下的变换方式一样。比如说，速度有3个分量，即x分量、y分量和z分量；如果在一个不同的坐标系中观察，没有任何一个分量会保持相同，相反，它们全都变换成新的数值。可是，不管怎样，速度“本身”要比它的任何个别的分量具有更大的真实

性，我们用一条有向线段表示它。

因此，我们要问：存在这样一些量，它们在一个运动的坐标系和一个不运动的坐标系之间的变换方式，或者说它们之间的相互联系与x, y，z和t之间的联系相同，这个说法对还是不对呢？我们从有关矢量的经验中得知，其中的3个量就像x, y，z一样，将构成一个普通的空间矢量的3个分量，而第4个量在空间旋转下看起来就像一个普通的标量，因为，只要我们不跑到一个运动的坐标系中去，它就不会改变。那么，用某种方式把我们称之为“时间分量”的第4个量与某些已知的“三维矢量”联系起来，使得这4个量一起按照时空中位置和时间的变换方式“旋转”，这是否有可能呢？下面我们将证明，确实存在至少一个这样的量（事实上存在许多这样的量）：动量的3个分量和作为时间分量的能量一起变换就构成一个所谓的“四维矢量”。在对此所做的证明中，由于不得不到处写上c这个量而相当不方便，所以，我们将采用在方程组（5.4）中用过的同样的技巧来处理能量、质量和动量的单位。例如，能量和质量仅仅相差一个因子c^2，这只不过是一个计量单位的问题，因此，我们可以认为，能量就是质量。我们令E=m而不一定非要写上c^2，当然，如果遇到什么麻烦的话，我们就会适当地插入若干个c，使计量单位在最终的方程中被改正过来，但是，中间的推导过程就不这样做了。

于是，关于能量和动量的方程就是

$$E = m = m_0 / \sqrt{1-v^2},$$
$$\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{v} = m_0\boldsymbol{v}\sqrt{1-v^2}. \qquad (5.6)$$

同样，在这些单位下有

$$E^2 - P^2 = m_0^2. \tag{5.7}$$

例如，如果我们用电子伏特来计量能量，那么，1电子伏特的质量是什么意思呢？它表示静能等于1电子伏特所对应的质量，即m_0c^2等于1电子伏特。比如说，一个电子的静质量等于0.511×10^6 eV。

那么，在一个新的坐标系中，动量与能量像个什么样子呢？为了找出问题的答案，必须对公式（5.6）做变换，这是可以做得到的，因为我们知道速度如何变换。假定当我们对一个物体进行测量时，它具有速度v，不过，我们要从一艘本身正以速度u运动的宇宙飞船上观测这同一个物体，在该坐标系中，我们用撇号来标明相应的量。在开始时，为了把问题简化，我们将考虑速度v沿着u的方向这种情形。（稍后，我们可以考虑更一般的情形。）从宇宙飞船上看，速度v'等于多少呢？这是一个合速度，即v与u之“差”。根据我们在前面导出的规则，

$$v' = \frac{v-u}{1-uv}. \tag{5.8}$$

下面，我们来计算新的能量E'，即宇宙飞船上的那个家伙应该测出的能量。他当然应该使用同一个静质量值，不过就要用v'做速度。我们必须要做的事情就是，求v'的平方，用1去减它，再开平方根，并求倒数：

$$
\begin{aligned}
v'^2 &= \frac{v^2 - 2uv + u^2}{1 - 2uv + u^2 v^2}, \\
1 - v'^2 &= \frac{1 - 2uv + u^2 v^2 - v^2 + 2uv - u^2}{1 - 2uv + u^2 v^2} \\
&= \frac{1 - v^2 - u^2 + u^2 v^2}{1 - 2uv + u^2 v^2} \\
&= \frac{(1 - v^2)(1 - u^2)}{(1 - uv)^2}
\end{aligned}
$$

由此可得到

$$
\frac{1}{\sqrt{1 - v'^2}} = \frac{1 - uv}{\sqrt{1 - v^2}\sqrt{1 - u^2}}. \tag{5.9}
$$

于是，能量E'就等于m_0乘上述表达式。不过，我们想用不带撇号的能量和动量表示这个能量值，我们注意到

$$
E' = \frac{m_0 - m_0 uv}{\sqrt{1 - v^2}\sqrt{1 - u^2}} = \frac{(m_0 / \sqrt{1 - v^2}) - (m_0 v \sqrt{1 - v^2})u}{\sqrt{1 - u^2}},
$$

也就是

$$
E' = \frac{E - u p_x}{\sqrt{1 - u^2}}, \tag{5.10}
$$

我们看到，这个公式与下面的公式形式上完全一样

$$t'=\frac{t-ux}{\sqrt{1-u^2}}.$$

接着，我们必须找出新的动量$p'x$。这正好就是能量E'和v'的乘积，也可以用E和p简单地表示：

$$p'_x=E'v'=\frac{m_0(1-uv)}{\sqrt{1-v^2}\sqrt{1-u^2}}\cdot\frac{v-u}{(1-uv)}=\frac{m_0v-m_0u}{\sqrt{1-v^2}\sqrt{1-u^2}}.$$

这样就得到

$$p'_x=\frac{p_x-uE}{\sqrt{1-u^2}},\qquad (5.11)$$

我们看到，这个公式与下面的公式形式上完全一样

$$x'=\frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2}}.$$

这样，用原来的能量和动量表示新的能量和动量的变换规则，以及用t和x表示t'，用x和t表示x'的变换规则，两者完全一样：我们所要做的事情就是，每当在（5.4）式中看到t时，就用E代入，而每当看到x时，就用p_x代入，这样，方程组（5.4）就会变成与方程（5.10）和（5.11）

相同的方程。如果一切都正确的话，这就暗含着一条附加的规则$p'_y=p_y$和$p'_z=p_z$。要证明这一点，就需要我们回过头去研究上下运动的情形。实际上，我们在上一章中已经研究过上下运动的情形。我们分析过一个复杂的碰撞过程，并且注意到，从运动着的坐标系中看，横向动量实际上并不改变；这样，我们就已经证明了$p'_y=p_y$和$p'_z=p_z$。于是，完整的变换规则就是

$$
\begin{aligned}
p'_x &= \frac{p_x - uE}{\sqrt{1-u^2}},\\
p'_y &= p_y,\\
p'_z &= p_z,\\
E' &= \frac{E - up_x}{\sqrt{1-u^2}}.
\end{aligned}
\qquad (5.12)
$$

因此，我们在这个变换中找到了四个量，它们的变换方式与*x*，*y*，*z*和*t*的一样，我们把这四个量叫做四维动量矢量。由于动量是一个四维矢量，因此，在一个运动粒子的时空图中，可以把它表示成一条与轨迹相切的“有向线段”，如图5-4所示。这条有向线段有一个等于能量的时间分量，而它的空间分量则表示它的三维动量矢量；这条有向线段比能量和动量都更“真实”，因为能量和动量完全依赖于我们观察这个图的方式。

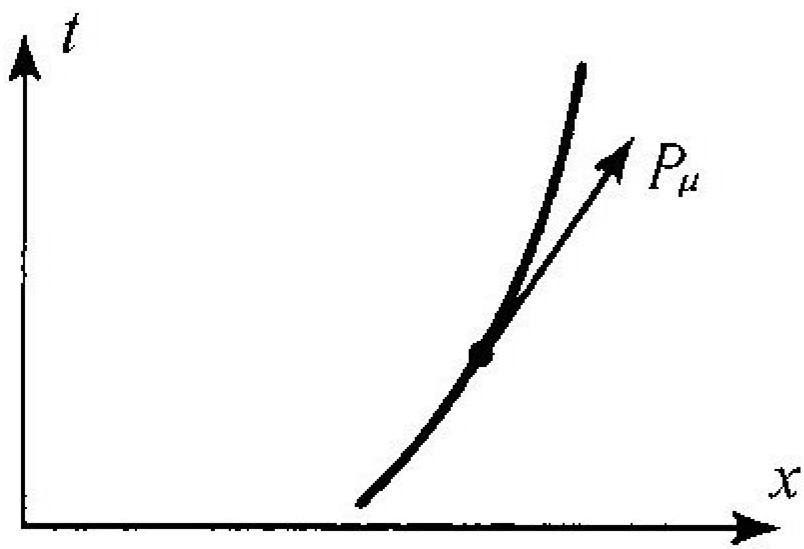


图5-4　一个粒子的四维动量矢量

5-5　四维矢量代数

四维矢量的表示方法不同于三维矢量的表示方法。在三维矢量的情形下，如果我们打算讨论普通的三维动量矢量，我们就会把它写成p。如果想说得更明确些，就可以说它有三个分量，它们在所讨论的坐标系下是p_x，p_y和p_z，也可以简单地写成一个一般的分量形式p_i，并认为i可以取x, y或者z，这就得到了三个分量；更确切地说，想象i是x, y或者z三个方向之中的任意一个方向。我们用来表示四维矢量的方法与这个情况相似：我们写下p^μ表示四维矢量，而μ代表四个可能的方向t, x，y或者z。

当然，我们可以使用任何我们想用的符号；不要小看符号这个东西；把它们发明出来是非常有用的。事实上，数学在很大程度上就是发明更好的符号。四维矢量的整个观念事实上就是符号表示法的一种改进，它使变换方程能够易于记忆。于是，A_μ就是一个一般的四维矢量，而对于动量这种特殊的情形，p_t就被确定为能量，p_x是x方向的动量，p_y是y方向的动量，还有，p_z是z方向的动量。要对四维矢量求和，就将相应的分量加起来。

假如四维矢量之间存在一个等式，那么，这个等式对每一个分量都成立。例如，如果在粒子碰撞中三维动量矢量守恒定律成立，即，如果大量相互作用着的或者相互碰撞的粒子的动量之和保持不变，就一定意味着所有粒子的动量在x方向、y方向和z方向的分量之和必须分别保持不变。在相对论中，单独这条定律是不可能成立的，因为它并不完整；这就好像只讨论一个三维矢量的两个分量一样。说它不完整，原因就是，如果我们转动坐标系，就会把各个分量混合起来，所以，在我们的定律中必须包括所有的三个分量。因此，在相对论中，我们必须推广动量守恒定律，使它包括时间分量，以达到完整。把这个分量与另外三个分量结合起来是绝对必要的，否则就不可能有相对论不变性。能量守恒是第四个方程，它与动量守恒一起在空间和时间的几何学中构成一个正确的四维矢量关系式。因此，在四维表示法中，能量和动量守恒定律为

$$\sum_{\text{参与碰撞的粒子}} p_\mu = \sum_{\text{碰撞产生的粒子}} p_\mu , \tag{5.13}$$

也可以写成稍微不同的样子

$$\sum_i p_{i\mu} = \sum_j p_{j\mu} , \tag{5.14}$$

式中i=1，2，……代表参与碰撞的粒子，j=1，2，……代表由碰撞产生的粒子，$\mu=x$, y，z或者t。有人会问，“用哪一个坐标系呢？”这没有关系。在任何坐标系中，这条定律对每一个分量都成立。

我们在矢量分析中讨论过另一个问题，即两个矢量的点乘。下面我们来考虑时空中相应的问题。我们在普通的旋转中发现，存在一个不变的量$x^2+y^2+z^2$。在四维中，我们发现相应的量是$t^2-x^2-y^2-z^2$[（5.3）

式]。我们如何写出这个公式呢？一种方法是，画出某种像$A_\mu \diamond B_\mu$这个样子的中间有一个方点的四边形；在实际中用到的一种表示法是

$$\sum_\mu{}' A_\mu A_\mu = A_t^2 - A_x^2 - A_y^2 - A_z^2. \qquad (5.15)$$

∑上面的撇号表示第一项，即“时间”项是正的，而其余三项带有负号。于是，这个量在所有坐标系中都相同，我们可以把它叫做四维矢量的长度的平方。举个例子，一个单粒子的四维动量矢量的长度的平方等于什么呢？它将等于$p_t^2 - p_x^2 - p_y^2 - p_z^2$，或者换一种形式写成$E^2 - p^2$，因为我们知道，$p_t$就是$E$。$E^2 - p^2$等于什么呢？它必定是某个在所有坐标系中都相同的量。尤其是，在一个始终随同粒子一起运动的坐标系中，这个量必须是相同的，在这个坐标系中，该粒子静止不动。如果该粒子静止不动，那么，它就没有动量。这样一来，在那个坐标系中，粒子就只有纯粹的能量，这个能量就等于该粒子的静质量。于是，$E^2 - p^2 = m_0^2$。由此可见，这个矢量，即四维动量矢量的长度的平方等于m_0^2。

从一个矢量的平方出发，我们可以进而构造“点乘”运算，即乘积的结果是一个标量：如果aμ是一个四维矢量，而bμ是另一个四维矢量，那么，标量积就是

$$\sum{}' a_\mu b_\mu = a_t b_t - a_x b_x - a_y b_y - a_z b_z \qquad (5.16)$$

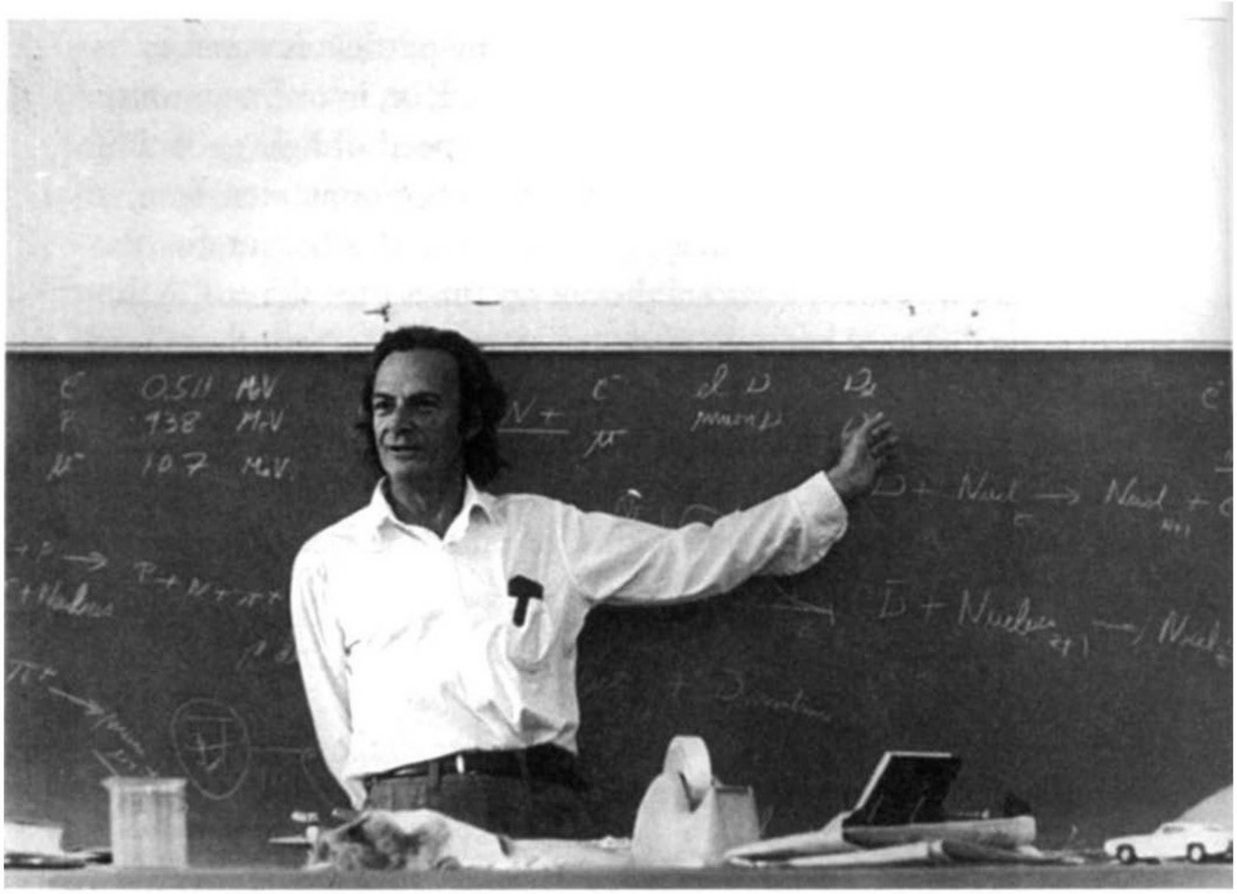
它在所有坐标系中都相同。

最后，我们要提一下某些静质量等于零的物体，例如一个光子。一个光子就像一个粒子，携带着能量和动量。一个光子的能量是某个常数（叫做普朗克常数）乘光子的频率：$E=h\nu$。这样一个光子还携带着动

量，而一个光子（事实上也是任何别的粒子）的动量等于h被波长除：$p=h/\lambda$。不过，对于一个光子而言，在频率与波长之间存在一个明确的关系：$v=c/\lambda$（每秒传过的波的数目乘每一个波的波长就等于光在1秒内传播的距离，这个数字当然就等于c）。于是我们立刻看到，一个光子的能量必定等于它的动量乘c，或者，如果$c=1$，能量与动量相等。这就是说，静质量等于零。让我们再来看一看这个推理过程吧，这是一件相当奇特的事情。如果这是一个静质量等于零的普通粒子，那么，当它停下来时会出现什么事情呢？它永远不会停下来！它始终以速度c运动。计算能量的一般公式是$m_0/\sqrt{1-v^2}$。那么，我们能否因为$m_0=0$和$v=1$就认为能量等于0呢？我们不能认为能量等于零；尽管光子没有静质量，但是，它实际上可以（而且确实）具有能量，不过，它是通过永不停息地以光速运动来占有这份能量的！

我们还知道，任何粒子的动量都等于它的总能量乘它的运动速度：如果$c=1$，$p=vE$，或者在通常的单位制中，$p=vE/c^2$。对于任何以光速运动的粒子而言，如果$c=1$就有$p=E$。从一个运动的坐标系中看，一个光子的能量公式当然由公式（5.12）给出，不过，动量就必须用能量乘c（或者在上述单位制下乘1）来代替。经过坐标变换之后，不同的能量意味着具有不同的频率。这叫做多普勒效应，我们可以用公式（5.12）很容易地把它推导出来，还要用到$E=p$和$E=hv$。

正如明可夫斯基所说的，“空间和时间将自然而然地退隐成为纯粹的阴影，只有它们之间的某种结合才得以幸免。”



第六章
弯曲空间

6-1　二维弯曲空间

牛顿认为，每个物体都吸引别的物体，吸引力的大小与两者之间的距离的平方成反比，而物体则以正比于力的加速度回应力的作用。以上说法就是牛顿的万有引力定律和运动定律。正如大家所知道的，这些定律解释了球体、行星、人造卫星、星系等物体的运动。

爱因斯坦对万有引力有一种不同的解释。他认为，重物附近的空间与时间（它们必须被组合起来形成时空）是弯曲的。物体在这个弯曲的时空中极力要沿着“直线”运动，这种趋势令它们以这样的方式运动。这是一个很难理解的概念——非常难以理解。这就是我们在本章中要做出解释的概念。

我们这个主题有三部分内容。一部分涉及引力效应；另一部分涉及已经讨论过的时空概念；第三部分涉及弯曲时空的概念。在开始时我们将简化要讨论的主题，不去过多地考虑引力的问题，并且不考虑时间变量——仅仅讨论弯曲的空间。稍后我们将讨论另外两个主题，但目前将集中讨论弯曲空间的观念——弯曲空间是什么意思，或者更准确地说，在爱因斯坦的理论中，弯曲空间是什么意思。结果表明，在三维空间中，甚至这样的问题目前也是有点难以理解的。因此，我们将首先更进一步简化这个问题，在二维的情况下讨论“弯曲空间”这个词的含义。

为了理解二维弯曲空间这个概念，你确实必须去体会一下一个生活在这种空间中的生物那带有局限性的观点。假如我们想象一只生活在一个平面上的没有眼睛的虫子，如图6-1所示。它只能在这个平面上运动，它没有认识“外部世界”的方法。（它并没有大家所具有的想像力。）我们当然要通过类比的方法来讨论。我们生活在一个三维的世界中，我们没有任何想像力去想象一个新的方向跳离我们这个三维世界；

因此，我们不得不通过类比的方法来解决问题。这就好像我们是生活在一个平面上的虫子，在另一个方向存在着一个空间。这就是我们将首先通过虫子进行讨论的原因，记住，它必须生活在它的表面上，并且不能跳出去。

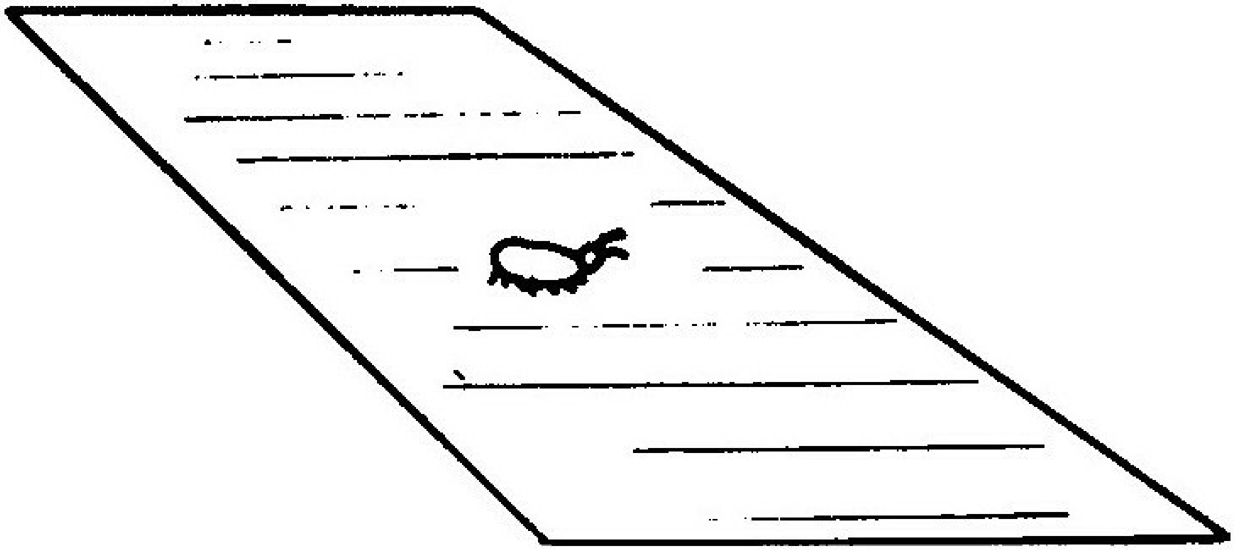


图6-1　一只在平面上的虫子

再举一个例子来说明一只生活在二维中的虫子，我们来想象一只生活在一个球面上的虫子。想象它能够如图6-2所示那样在球面上到处漫游，但它不能朝“上”，或者朝“下”，或者朝“外”看。

下面我们还要看一看第三种生物。它像别的两种生物一样也是一只虫子，也像我们的第一只虫子那样生活在一个平面上，但这个平面是特殊的。温度在不同的地方并不一样。还有，这只虫子以及它所使用的任何尺子都由遇热膨胀的相同的材料构成。每当它在某个地方放上一把尺子来测量某个东西时，这把尺子就立刻膨胀到该处温度下的固有长度。无论它把什么东西放在哪里——它自己、一把尺子、一个三角形，或者什么别的东西——这件东西自然就会因热膨胀而伸长。所有的东西在热的地方都比在冷的地方长，所有的东西都具有相同的膨胀系数。我们特别要考虑一种特殊的热板，它在中心处是冷的，随着我们往边上走，它

变得越来越热（图6-3），尽管如此，我们还是要把我们这第三种虫子的家园叫做“热板”。

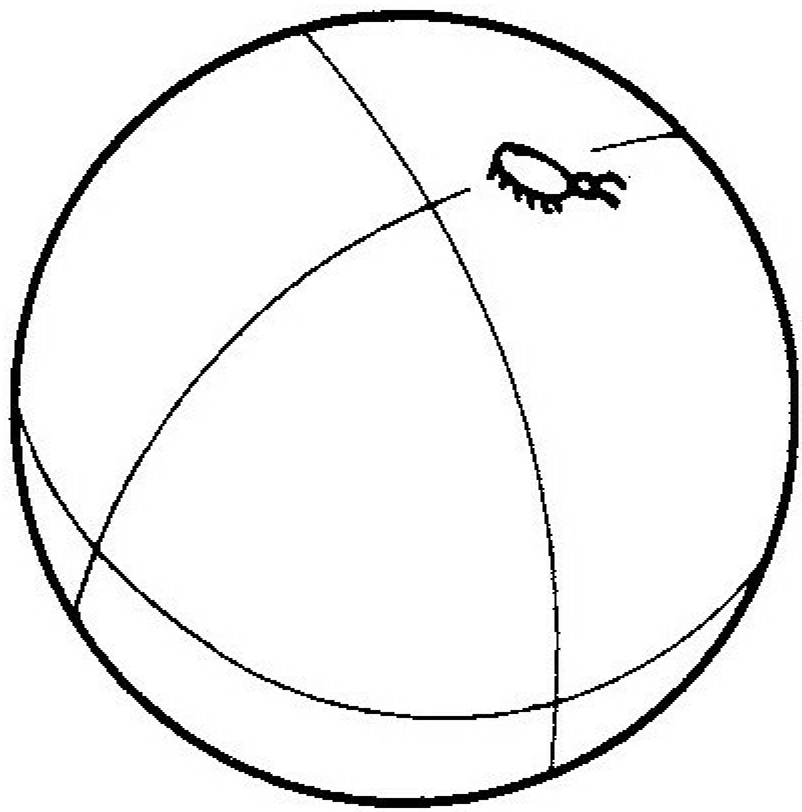


图6-2　一只在球面上的虫子

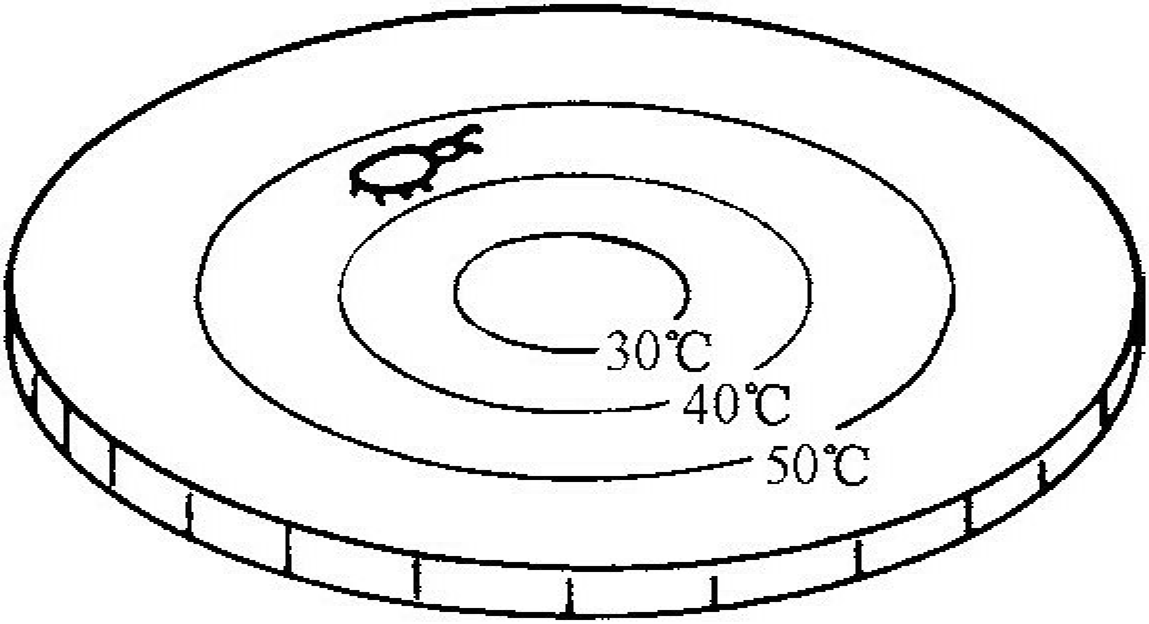


图6-3　一只在热板上的虫子

下面我们将想象这些虫子开始研究几何学。尽管我们把它们想象成是瞎子，这样它们就看不到任何“外部的”世界，但是，它们还是能够用它们的腿和触角干许多事情。它们能够画线、做尺子、测量长度。首先，设想它们从几何学中最简单的概念开始。它们学会怎样画一条直线——定义为两点之间最短的线。我们的第一种虫子（图6-4）会画非常直的线。可是生活在球面上的虫子怎样呢？它沿着两点之间——对它而言——的最短距离画出它的直线，如图6-5所示。这条线在我们看来也许像一条曲线，可是它没有任何办法跳离球面并发现“真的”有一条更短的线。它只知道，假如它在它的世界中尝试任何别的路线，它们都比它的直线长。因此，我们将让它把它的直线作为两点之间最短的弧线。（这当然是一个大圆上的一条弧线。）

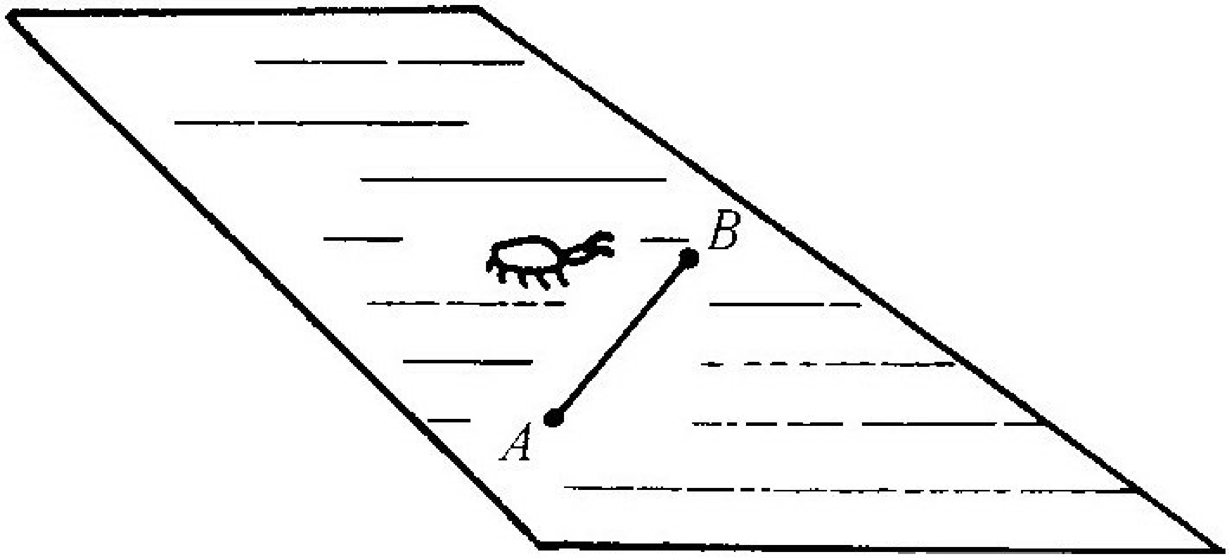


图6-4　在一个平面上画一条“直线”

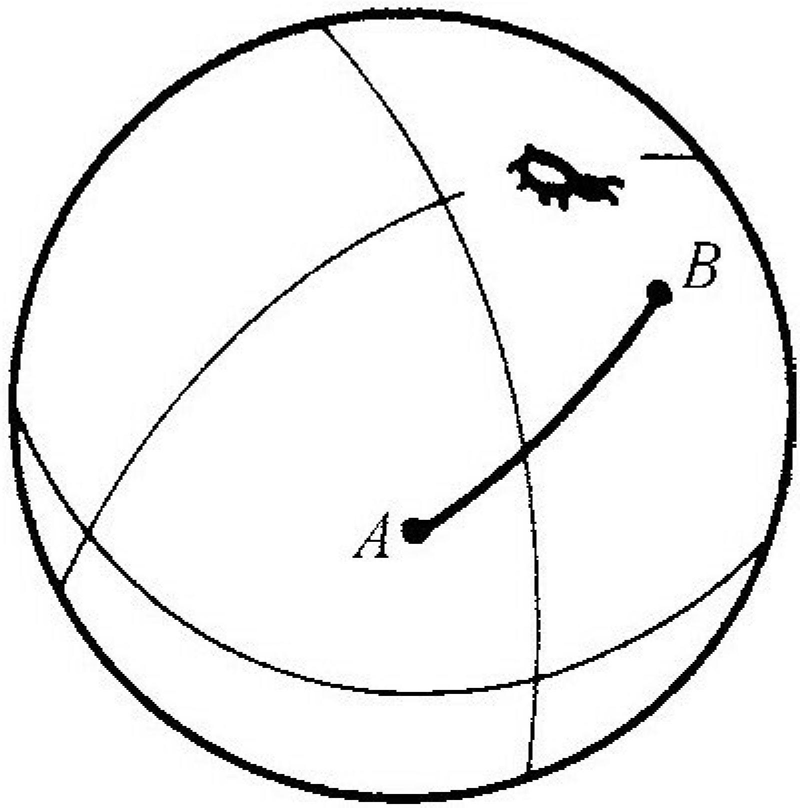


图6-5　在一个球面上画一条“直线”

最后，我们的第三种虫子（图6-3中的那种）也将画出一条在我们

看来像曲线的“直线”。比如说，在图6-6中*A*和*B*之间的最短距离应该在一条如图所示的曲线上。为什么会这样呢？原因就是，当它的线朝外向着热板的较温暖的部分弯曲时，尺子（从我们那无所不知的观点来看）就逐渐地变得更长，而从*A*到*B*需要首尾相接地放置的“码尺”就更少。因此，对它来说，这条线是笔直的——它没有任何办法知道，在外部的一个陌生的三维世界中会存在某种生物，这种生物将把一条不同的线叫做“笔直的”。

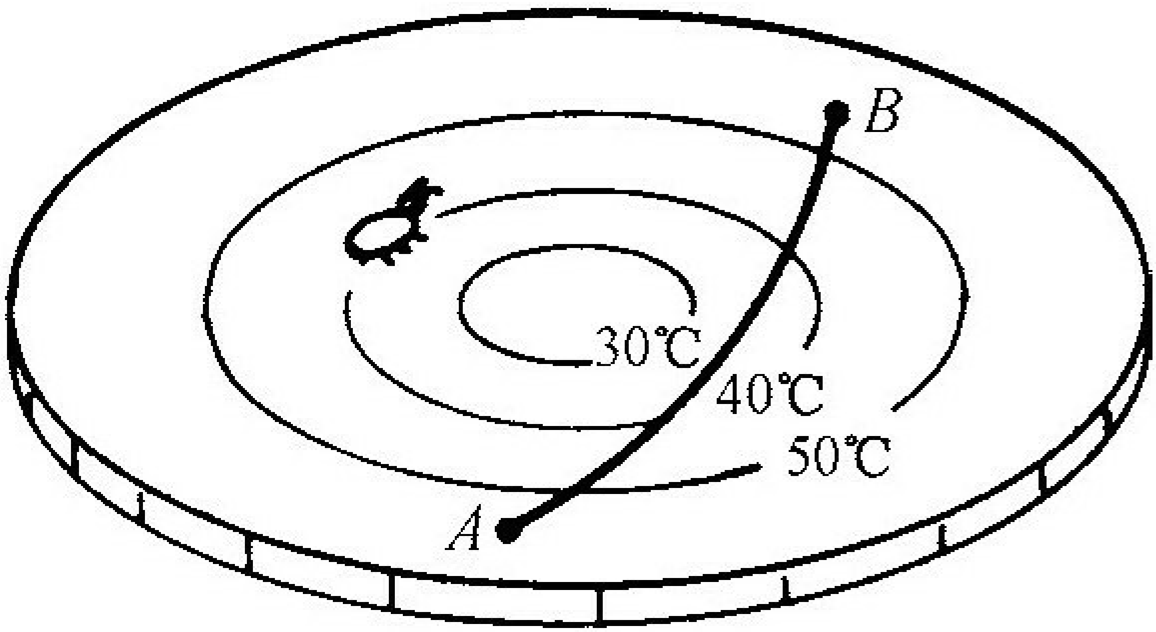


图6-6　在热板上画一条“直线”

我想，大家现在得到了这样一个概念，因此，余下的全部分析都将总是从生活在特定的表面上的生物的观点出发而不是从我们的观点出发。记住这个要求，我们来看一看它们的几何学的余下部分是个什么样子。让我们假定这些虫子全都学会了怎样画两条相交成直角的线。（你能够想象出它们会怎样做这件事。）于是，我们的第一种虫子（生活在普通平面上的那种）发现了一个有趣的事实。如果它从*A*点开始画一条100英寸长的线，然后转过一个直角并画另一条100英寸的直线，然后再转过一个直角并再画一条100英寸的直线，然后第三次转过一个直角并

画第四条100英寸长的直线，它就会如图6-7（a）所示的那样，最后刚好画到开始的那一点上。这是它的世界的一个性质——它的“几何学”中的一个事实。

接着，它发现另一件有趣的事情。如果它画出一个三角形（一个由三条直线组成的图形），那么，三个角度之和就等于180°，即等于两个直角之和。参见图6-7（b）。

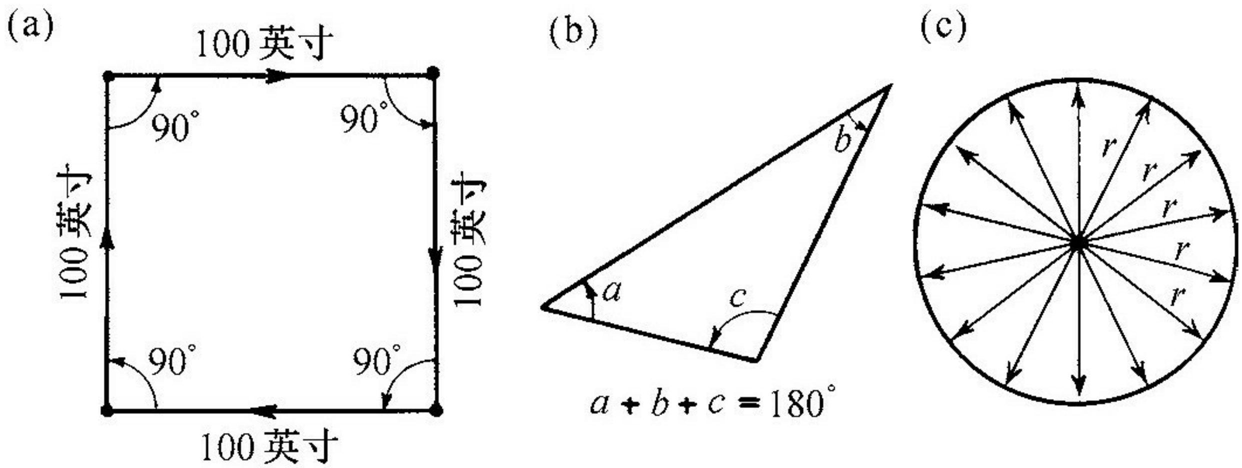


图6-7　在一个平直的空间中的正方形、三角形和圆

接下来，它画了一个圆。一个圆是什么东西呢？一个圆是这样画出来的：你从某个点出发向四面八方画直线，并标上许多与这个点距离相同的点。参见图6-7（c）。（我们必须小心在意我们是如何定义这些东西的，因为我们必须让另外两个家伙能够做类比。）当然，这个图形等价于这样一条曲线，你可以通过让一把尺子绕着一个点旋转来画出它。不管怎么样，我们这些虫子学会了怎样画圆。接着有一天，它想测量一个圆的周长。它测量了几个圆，并发现了一条简洁的关系：圆周的长度总是等于同一个数字乘半径r（这当然就是从中心向外到曲线的距离）。周长与半径总是具有相同的比例——近似等于6.283——与圆的大小无关。

下面，我们来看一看别的两种虫子在它们的几何学中找到些什么东

西。首先，当生活在球面上的虫子尝试画一个“正方形”时会出现什么事情呢？如果它遵循我们在前面描述的方法去做，它大概会认为结果几乎不会有什么麻烦。它得到了一个如图6-8所示那样的图形。它的终点*B*并不在起点*A*上，根本就画不出一个闭合的图形。拿一个球来试一试看。类似的情况出现在我们那生活在热板上的朋友那里。如果它画四条由直角连接起来的（用它的膨胀的尺子测量时）长度相等的直线，它就得到一个像图6-9那样的图形。

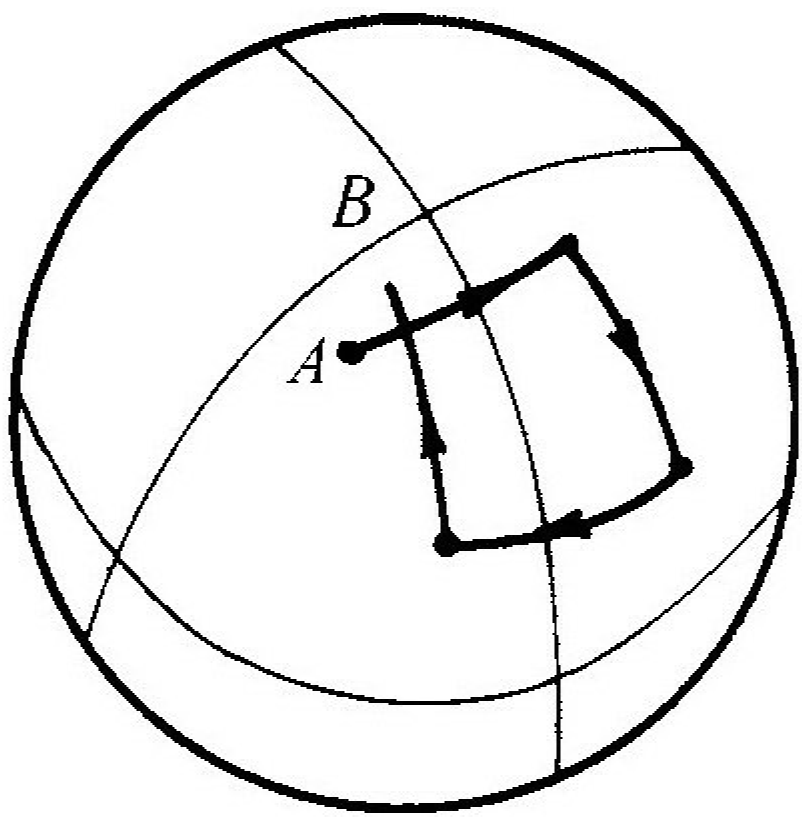


图6-8　尝试在一个球面上画“正方形”

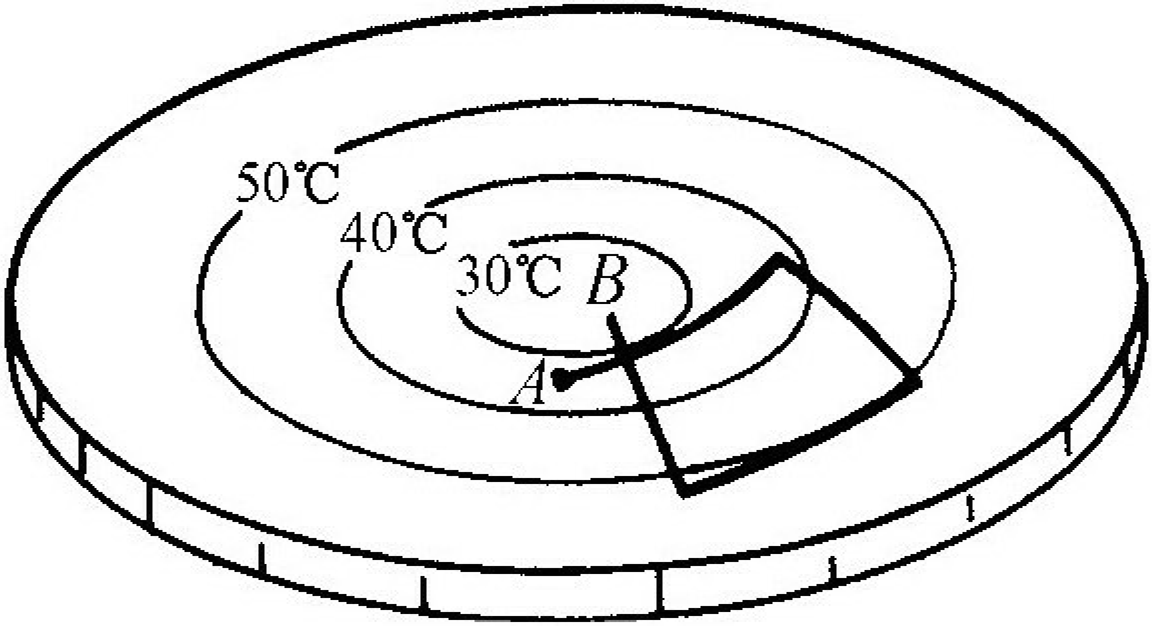


图6-9　尝试在热板上画“正方形”

下面假设我们的每一种虫子都有它们自己的欧几里得，它已经告诉它们，几何学“应该”是个什么样子，而它们已经在一个小的范围内通过进行粗略的测量大致上验证了它的结论。接着，当它们尝试在一个大的范围内画精确的正方形时，就会发现出错了。问题就在于，仅仅通过几何学的测量，它们就会发现，麻烦出在它们的空间中。我们定义弯曲的空间是这样一个空间，在这个空间中，几何学并不是我们在平面上预期的那个样子。生活在球面上或者生活在热板上的虫子的几何学是弯曲空间中的几何学。欧几里得几何学的法则失效了。于是，为了认识到你生活于其中的世界是弯曲的，并不需要你能够使自己从表面上跳出来。为了认识到世界是一个球面，并不需要做环球航行。通过画一个正方形，你就能够认识到，你生活在一个球面上。如果画出来的正方形很小，你将需要很高的精确度，不过，如果这个正方形很大，测量就能够比较粗略地进行。

让我们以平面上的三角形为例子。3个内角之和等于180°。我们在球面上的朋友能够找到非常奇特的三角形。例如，它能够找到具有3个

直角的三角形。千真万确！图6-10画出了一个。想象我们的虫子从北极开始画一条直线，一直往下画到赤道上。接着，它转过一个直角，并画出另一条长度一样的精确的直线。接着重复上面的步骤。用这个它挑选出来的非常特别的长度，正好回到开始的那一点，而且也是以一个直角与第一条线相交。因此，毫无疑问，对于它来说，这个三角形有3个直角，或者说内角之和是270°。结果，三角形的内角之和总是大于180°。事实上，多出的度数（对于图示的那种特殊的情形，就是多出的90°）与该三角形的面积成正比。如果一个在球面上的三角形非常小，它的内角之和就非常接近180°，仅仅大一点点。随着三角形不断增大，偏差就不断增加。生活在热板上的虫子从三角形中会发现相似的困难。

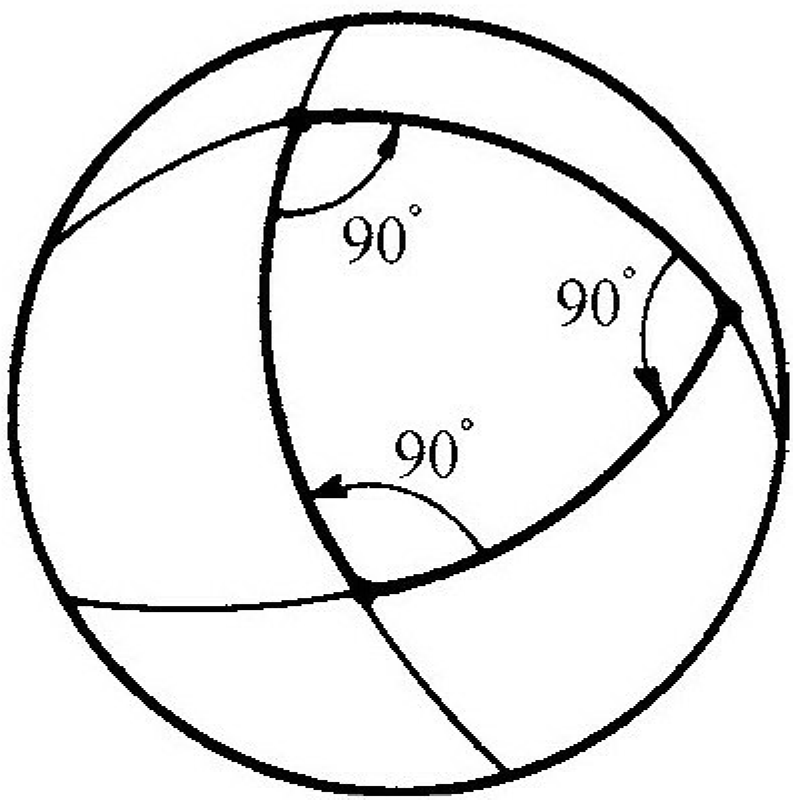


图6-10　在球面上一个“三角形”可以有3个90°的内角

下面来看一看我们那些虫子在圆这个问题上找到些什么东西。它们画出圆周并测量其周长。比如说，生活在球面上的虫子可以画一个如图

6-11所示那样的圆。它将发现圆的周长小于2π乘半径。（你能够明白这个结果，因为根据我们的三维视图的常识，它所谓的“半径”显然是一条比这个圆的真实半径更长的曲线。）设想生活在球面上的虫子学过欧几里得几何学，并决定用周长除2π来预言半径：

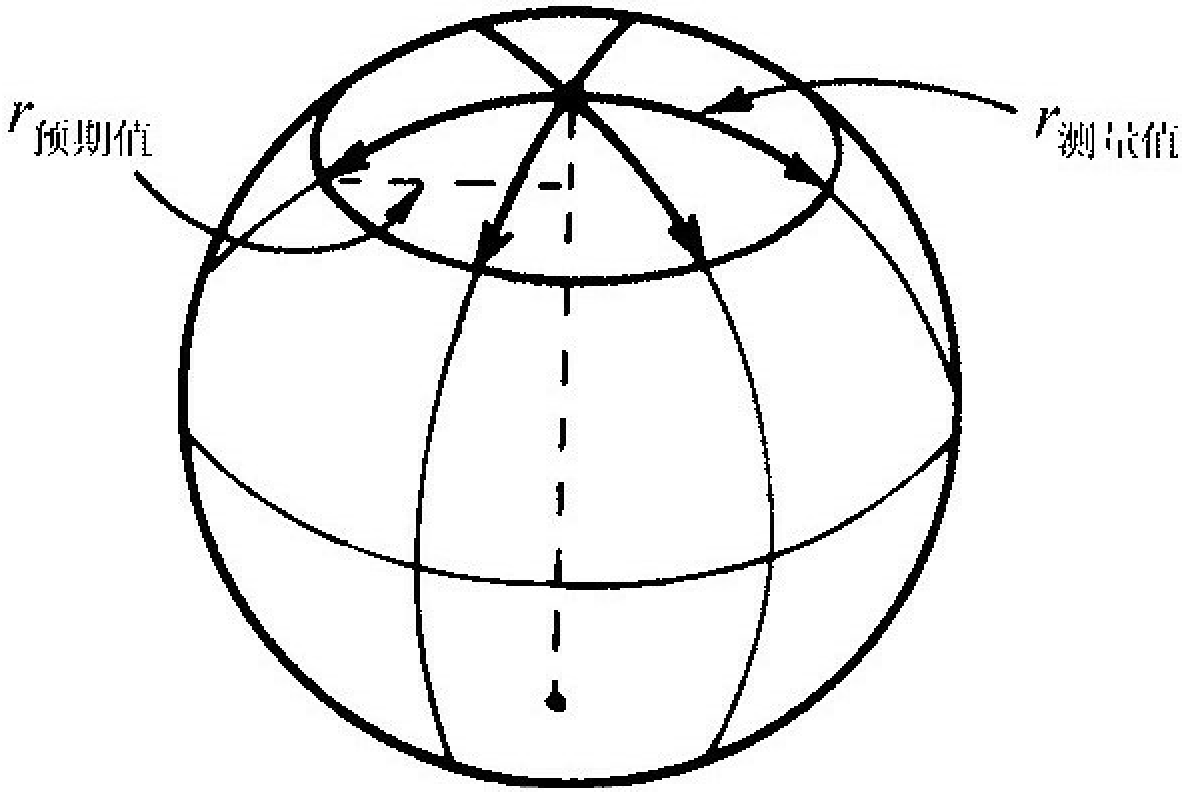


图6-11　在球面上画一个圆

$$r_{预期值}=\frac{C}{2\pi}. \qquad (6.1)$$

于是，它就会发现，实测半径大于预期半径。继续研究这个问题，它可以把这个差额定义为“多出的半径”，写成

$$r_{测量值}-r_{预期值}=r_{多出值}. \qquad (6.2)$$

并研究这种多出半径的效应怎样依赖于圆的大小。

我们那生活在热板上的虫子将发现相似的现象。想象它准备画一个如图6-12所示那样的圆，圆心在板上冷的部位。假如我们打算看着它画这个圆，就会注意到，它的尺子在靠近圆心处是短的，并随着尺子往外移动逐渐变长——尽管这只虫子无疑并不知道这一点。当它测量周长时，尺子自始至终是长的，因此，它也发现实测半径比预期半径C/2π长。热板虫也发现一种“多出半径的效应”。这种效应的大小还是依赖于圆的半径。

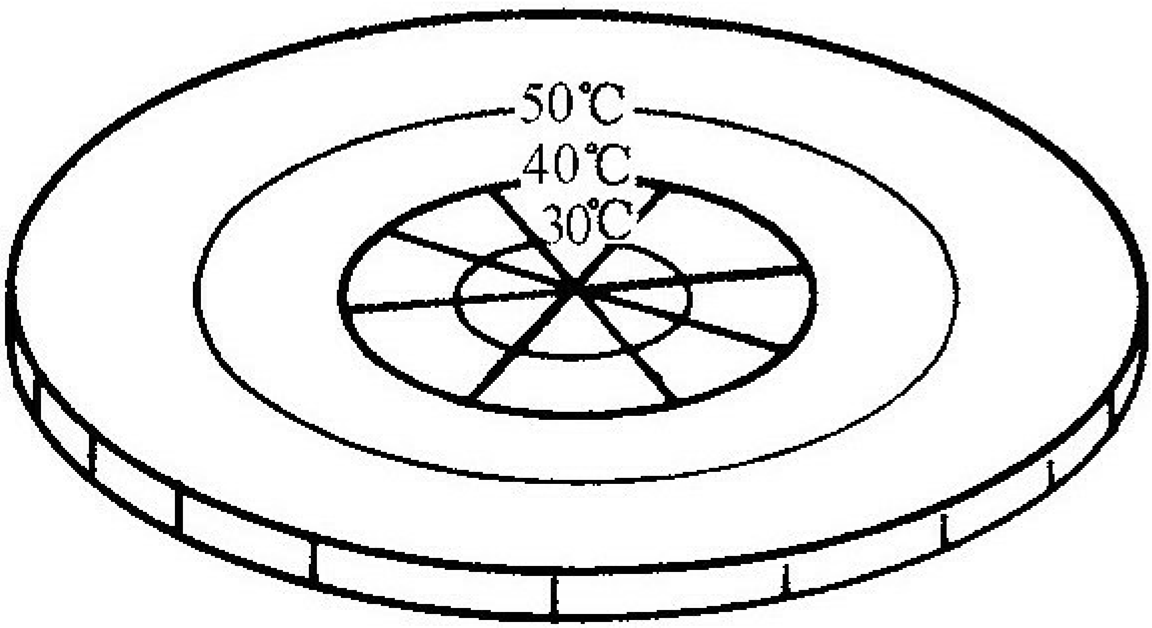


图6-12　在热板上画一个圆

我们将把这样一个空间定义为一个“弯曲空间”：在这个空间中，存在以下类型的几何误差：一个三角形的内角之和不是180°；一个圆的周长被2π除不等于半径；画一个正方形的规则并不给出一个闭合的图形。你还可以想出其他的事情。

我们已经举出了弯曲空间的两个不同的例子：球面和热板。不过，如果我们选择热板上的温度变量是距离的适当的函数，那就有意思了，

两种几何学将会一模一样。这个结果相当有趣。我们能够令生活在热板上的虫子与生活在球面上的虫子得到完全相同的答案。对于那些喜欢几何学及几何学问题的人，我将告诉你们这如何能够办得到。如果你假定尺子的长度（当由温度决定时）正比于1加上某个常数乘以与原点的距离的平方，那么，你就会发现，那块热板上的几何学在所有细节上（无穷远点除外）与球面上的几何学一模一样。

当然，存在别的种类的几何学。我们可能会向一只生活在一个梨形面上的虫子请教几何学，所谓的梨形面就是这样一种曲面，在某些地方具有较大的弯曲程度，而在别的地方具有较小的弯曲程度，而在别的地方具有较小的弯曲程度，这样，在它的世界中，在某个区域画出的小三角形与在另一个区域画出的相比，内角的超出就会更加严重。换句话说，空间的弯曲程度有可能处处不一样。这正是上述观念的一个推广。它也可以用热板上一个适当的温度分布来模拟。

我们还可以指出，有可能出现负的偏差这种结果。比如说，我们会发现，所有被画得非常大的三角形都具有小于180°的内角和。这看上去也许不可能，但情况确实如此。首先，我们可以做一个温度随着远离板心而降低的热板，于是，所有的效应都将反过来。不过，我们也可以考察鞍形面的二维几何学，用单纯的几何方法实现这种结果。想象一个如图6-13所示的鞍形面。接下来在这个面上画一个“圆”，它被定义为中心距相同的所有的点的轨迹。这个圆是一条具有起伏效应的振荡的曲线。这样，它的周长就比用$2\pi r$算出的预期值要长。因此，在这里$C/2\pi$就比r大。“多出的半径”是负的。

球面和梨形面等曲面都是正曲率的表面；而其他的面叫做负曲率的表面。一般说来，一个二维的世界将具有处处不一样的曲率，并且有可能在某些地方曲率为正，而在别的地方曲率为负。概括地说，弯曲空间指的就是这样一种空间，在这些空间中，由于出现正的或负的偏差而使

欧几里得几何学失效。曲率的大小（比如说由多出的半径来定义）可以处处不一样。

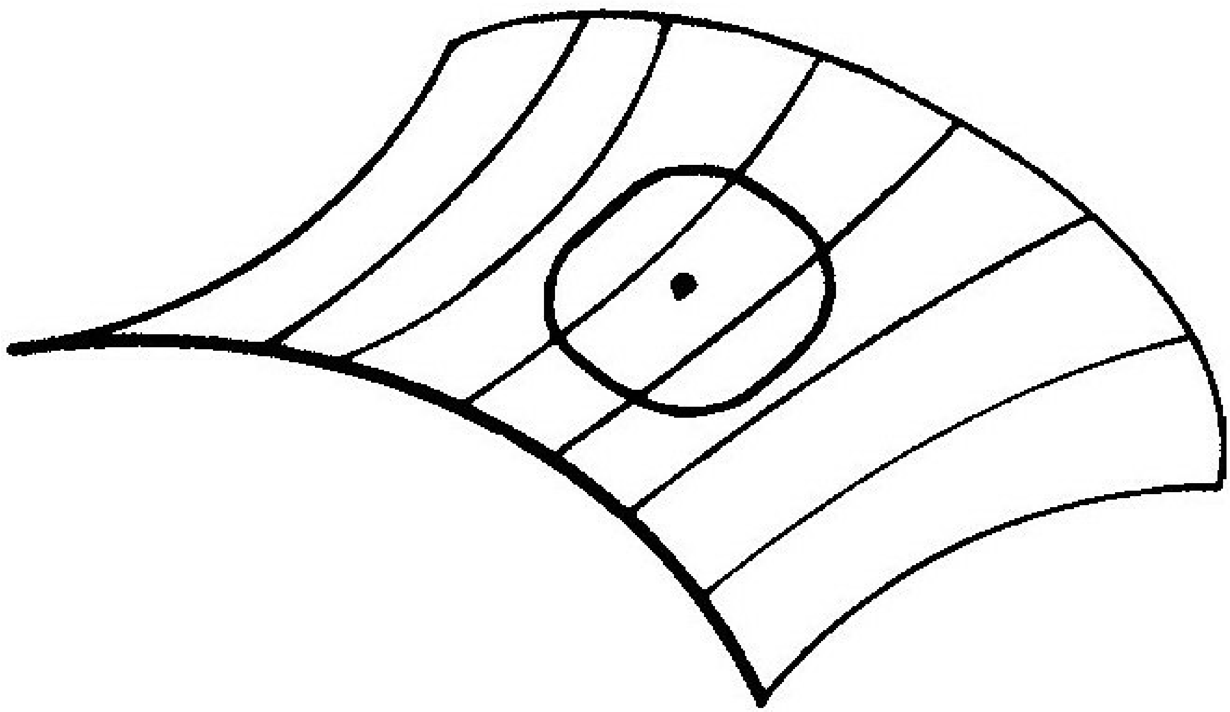


图6-13　鞍形面上的一个“圆”

应该指出的是，从我们对曲率的定义来看，一个圆柱面不是弯曲的，这相当令人惊讶。如果一只虫子生活在一个如图6-14所示那样的圆柱面上，它就会发现三角形、正方形和圆全都具有平面上相应图形所具有的性质。只要考虑一下，假如圆柱面被展开成平面，所有这些图形看起来会怎样，就很容易明白这一点。于是，可以用完全与平面相对应的方法画出所有的几何图形。因此，一只生活在一个圆柱面上的虫子（假定它不会一直走下去，而只是做局部的测量）没有任何办法察觉它的空间是弯曲的。在我们的理论直觉中，我们认为它的空间不是弯曲的。我们要谈论的东西更确切地叫做内部曲率：即只在局部区域进行测量就能够得出的曲率（一个圆柱面没有内部曲率）。爱因斯坦说我们的空间是弯曲的，他所指的就是这个意思。不过，到目前为止，我们仍然只是在二维的情况下定义了弯曲空间的概念；我们必须接着看一看，这个概念

在三维的情况下可能会有什么意义。

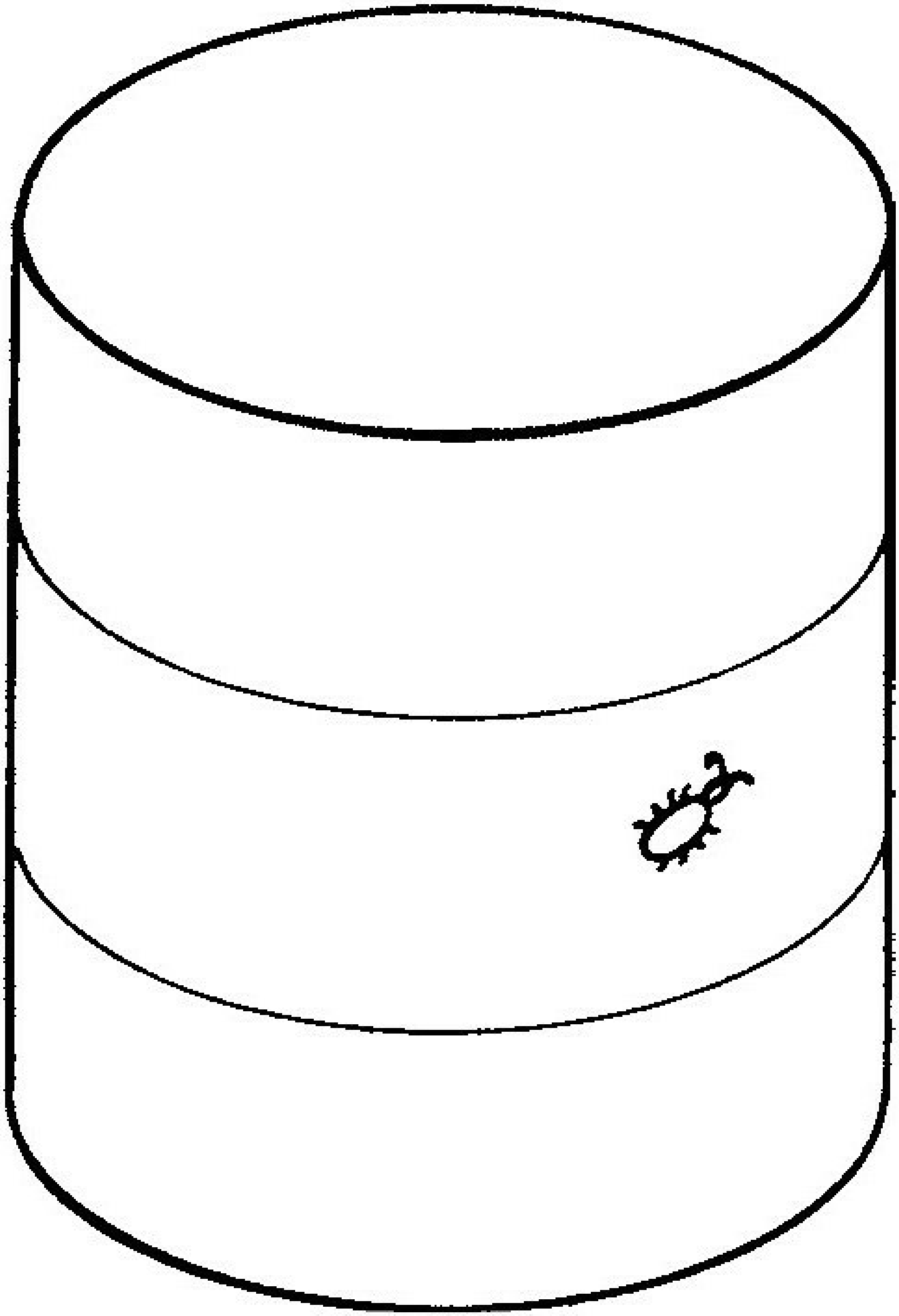


图6-14　一个内部曲率等于零的二维空间

6-2 三维空间的曲率

我们生活在三维空间中，我们准备去考察三维空间是弯曲的这样一种观念。大家会说，“可是你怎么能够想象它向任意方向弯过去呢？”唔，我们不能想象空间向任意方向弯过去，因为我们的想像力并不够（也许正因为我们不能想象得太多，所以从这个真实的世界中得不到太多的自由）。不过，我们无须跳离这个三维世界而仍然能够确定曲率。我们在二维的情况下一直在讨论的问题只不过是一种练习，显示我们怎么能够得到曲率的定义，它并不需要我们能够从外部“往里看”。

我们能够用某种方法来确定我们的世界是否是弯曲的，这种方法与那些生活在球面上或者热板上的绅士们所使用的方法非常相似。我们也许不能把这两种情形区分开，但是，我们肯定能够把这些情形与平直的空间即普通的平面区分开。怎样区分呢？太容易了：画一个三角形并测量各个内角。或者画一个大的圆周并测量其周长和半径。或者尝试画一个精确的正方形，或者构造一个立方体。对每一种情形都检验一下几何学的法则是否有效。如果这些法则失效，就认为我们的空间是弯曲的。如果画一个大的三角形而它的内角之和超过180°，就可以认为我们的空间是弯曲的。或者如果一个圆的实测半径并不等于它的周长除以2π，也可以认为我们的空间是弯曲的。

你将会注意到，在三维中情况要比在二维中复杂得多。在二维中，任何一个位置都有一个确定的曲率值。可是在三维中，曲率可以有若干个分量。如果我们在某个平面上画一个三角形，如果把这个三角形所在的平面指向一个不同的方向，就可以得到一个不同的答案。或者举一个圆的例子，设想我们画一个圆并测量其半径，结果与$C/2\pi$不一致，于是半径有一定的超出量。接着如图6-15所示在垂直方向再画一个圆。两个圆的半径超出量不一定精确相同。事实上，在某个面上的圆可以有正的超出，而另一个面上的圆则有缺失（负的超出量）。

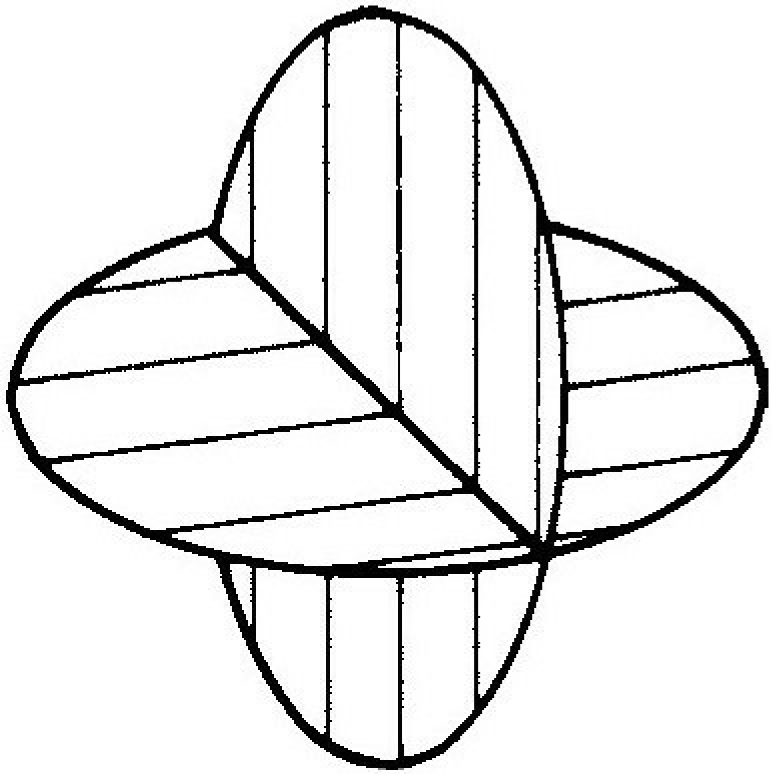


图6-15　不同指向的圆的半径超出量可以不一样

也许你正在考虑一个更好的主意：难道我们不能利用一个三维的球来回避这些分量吗？我们可以通过画出与空间中某个点的距离相同的所有的点来确定一个球。接着，我们可以通过在球面上划分细小的矩形网格，并将所有的面积元相加来测量球面的面积。根据欧几里得几何学，我们认为，总面积*A*就是4π乘半径的平方；于是，可以定义一个“预期的半径”$\sqrt{A/4\pi}$。不过，我们也可以通过挖一个通向球心的洞并测量这个洞的深度来直接测量半径。像前面一样，我们可以用实测半径减去预期半径，并把这个差值叫做半径的超出量。

$$r_{\text{超出值}}=r_{\text{测量值}}-\left(\frac{\text{测得的面积}}{4\pi}\right)^{1/2},$$

这将是曲率的一个完全合适的度量。这种方法有明显的优点，它不依赖于一个三角形或一个圆怎样指向。

不过，一个球面的半径超出量也有不利的一面；它并没有完整地说明空间的特性。它给出的量叫做三维世界的平均曲率，因为其中存在一个对所有曲率的平均效应。然而，由于它是一个平均量，因此并没有完全解决确定几何结构这个问题。假如你只知道这个数字，你就不能预言空间几何结构的所有性质，因为你不可能知道不同指向的圆会发生什么变化。完整的定义需要在每一个点上用到6个“曲率数值”。数学家当然知道怎样写下所有这些数值。总有一天你可以在一本数学书中读到怎样以一种高级的和精巧的形式把它们全部写下来，不过，最好还是先粗略地了解一下你试图写出的是什么东西。就我们的大多数目的而言，平均曲率应该是够用的。[11]

6-3　我们的空间是弯曲的

下面讨论主要的问题。上一节所说的有没有道理呢？更确切地说，我们生活于其中的现实的三维空间是弯曲的吗？人类一旦有了足够的想像力去认识这样一种可能性，即空间有可能是弯曲的，头脑中自然就会产生好奇心，渴望知道真实世界是否是弯曲的。为了尝试找到答案，人们做过直接的几何测量，但并未发现对平直的任何偏离。另一方面，通过对引力问题的讨论，爱因斯坦发现，空间确实是弯曲的，不过，我倒是愿意向各位讲一讲有关曲率数值的爱因斯坦定律讲的是什么，还要讲一讲有关他如何发现这个定律的一些故事。

爱因斯坦认为，空间是弯曲的，物质是弯曲的起因（物质也是引力的起因，因此引力与弯曲相对应——不过，这一点将在本章稍后再做介绍）。为了使事情更容易一点，我们设想，物质以某种密度连续分布，不过，物质的密度是可以随你所愿而到处不一样的，[12]爱因斯坦给出

的有关曲率的规则如下：如果存在一个有物质分布于其中的空间区域，我们取一个足够小的球面，使其中的物质密度ρ近似为常数，那么，这个球面的半径超出量正比于球面内的质量。利用半径超出量的定义得到

$$\text{半径超出量}=r_{\text{测量值}}-\sqrt{\frac{A}{4\pi}}=\frac{G}{3c^2}\cdot M. \qquad (6.3)$$

式中G是（牛顿理论中的）万有引力常数，c是光速，$M=4\pi\rho r^3/3$是球面内的物质的质量。这就是空间平均曲率的爱因斯坦定律。

假定取地球做例子，并忽略密度处处不一样这个实际情形——这样就不需要做积分了。假定我们打算非常仔细地测量地球的表面，然后挖一个通向地心的洞并测量它的半径。利用表面积可以计算出预期的半径，这个半径可以通过令面积等于$4\pi r^2$而得到。如果把预期半径与实测半径做比较，就会发现，实测半径比预期半径大，超出的数值由公式（6.3）给出。常数$G/3c^2$大约等于2.5×10^{-29}厘米/克，因此，对于每克物质来说，实测半径偏离预期值2.5×10^{-29}厘米。把地球的质量（大约等于6×10^{27}克）代入公式，结果是，地球的实测半径比根据其表面积预期应该具有的半径值大1.5毫米。[13]对太阳做同样的计算就会得到，太阳的半径大500米。

大家可能注意到，这条定律说，地球表面上方的平均曲率等于零。但是，这并不表示曲率的全部分量是零。地球上方仍然有可能存在（实际上就是存在）某种曲率。就平面上的一个圆来说，在某个指向上，它具有正或负的半径超出量，而在另一个指向上，它却具有正负号相反的半径超出量。这条定律只不过给出这样一个结果，如果球面内部没有质量，那么，对球面做平均就等于零。顺便提一下，这条定律给出，在各个曲率分量与平均曲率随位置的变化之间存在某种关系。因此，假如知

道了每一点的平均曲率，就能够计算出每一点上曲率的细节。地球上方的平均曲率随高度而改变，因此，空间是弯曲的。正是这种弯曲，我们把它视为引力。

设想在一个平面上有一只虫子，并假设这个“平面”上几乎没有什么疙瘩。无论在哪里有一个疙瘩，这只虫子就会断定，它的空间有少许弯曲的局部区域。在三维中，我们有相同的推断。无论在哪里有物质团块，我们的三维空间就有局部的弯曲——一种三维的疙瘩。

假如我们在一个平面上弄上许多肿块，那么，除了所有的疙瘩之外，还有可能存在一种整体的弯曲——表面可能会变得像一个球面。由于存在像地球和太阳这样的物质团块，我们的空间是否就不但具有局部的疙瘩，而且还具有某种净余的平均弯曲，探究一下这个问题是很有意思的。天体物理学家一直在尝试通过测量极其遥远的星系来回答这个问题。例如，我们在一个遥远的球形壳层内看到的星系的数目，不同于从有关这个壳层的半径方面的知识出发预期到的数目，那么，就会得到一个非常巨大的球的半径超出量的实测值。利用这种测量可望探明，我们的整个宇宙到底是弯曲的，还是平均来说平直的——到底是像一个球那样“封闭的”，还是像一个平面那样“开放的”。大家也许听说过有关这个课题的仍然在继续着的争论。存在争论是因为天文测量的结果仍然是完全不确定的；实验数据并没有精确到足以给出一个明确的答案。遗憾的是，有关我们的宇宙在大尺度上整体弯曲的状况，我们一点都不知道。

6-4　时空中的几何学

下面得来谈一谈时间了。我们在狭义相对论中讲到，空间的度量和时间的度量是互相关联的。要在空间中做某件事情而又不把时间包括进去，这有点不切实际。大家应该还记得，时间的度量依赖于观测者的运动速度。例如，我们观察一个乘坐宇宙飞船从旁边经过的家伙，就会发

现，事情的发生对他来讲比对我们来讲更慢。打个比方吧，他迈着轻捷的步伐走开了，当我们的手表正好走过100秒的时候就返回来，他的手表可能显示他只出去了95秒。与我们的手表比较起来，他的手表（以及所有其他的过程）一直都走慢了。

下面来考虑一个有趣的问题。设想你是乘坐在宇宙飞船中的人。我们要求你在收到一个特定的信号时就动身，并正好在收到下一个信号——我们的时钟正好走过了，比如说，100秒时——回到你出发的地点。还要求你以这样的方式做这次漫步，你的手表应该显示出尽可能长的时间间隔。你应该怎样行动呢？你应该站着不动。假如你一直在走动，那么，当你回来的时候，你的手表走过的时间就会小于100秒。

另一方面，设想把问题做一点改变。假定我们要求你在收到一个特定的信号时就从*A*点出发走到*B*点（这两个点相对于我们是固定的），并且要做到正好在收到下一个信号（我们那固定的时钟走过了，比如说，100秒）时回到出发点。还是要求你以这样的方式做这次漫步，使得在到达终点时，你的手表显示出尽可能长的时间间隔。你应该怎样行动呢？走哪一条路以及如何安排这次漫步才能使得当你到达终点时你的手表显示出最长的时间间隔呢？答案是，如果你以均匀的速度沿着直线做这次漫步，那么，在你看来你就会花费最长的时间。理由是：任何附加的运动和极高的速度都会使你的时钟走得更慢。（由于时间的偏差依赖于速度的平方，你在某个地方因急速运动所丢失的时间，要通过在另一个地方缓慢移动来弥补，这永远办不到。）

以上所述的要点是，我们可以利用这个观念来定义时空中的“一条直线”。空间中的一条直线的类比是，在时空中以均匀的速度沿着一个恒定的方向的运动。

在空间中距离最短的曲线，在时空中并不是对应于时间最短的那条路径，而是对应于时间最长的那条路径，原因就是相对论中时间项的符

号这件古怪的事情。于是，“直线”运动（“匀速直线运动”的类比）就是这样一种运动，在某个时刻从一个地点拿起一只手表，以这样一种方式在另一个时刻走到另一个地点，使得这只手表显示出最长的时间。这就是我们给时空中类似于直线的东西所下的定义。

6-5　引力和等效原理

下面我们准备讨论引力定律。爱因斯坦尝试创立一个与狭义相对论相容的引力理论，狭义相对论是他在早些时候创立的理论。他苦思冥想，最终悟出了一条重要的原理，这条原理引导他得出正确的定律。这条原理是根据失重的概念提出来的，当一件物体自由下落时，它内部的所有东西似乎没有重量。比如说，一颗在轨道上运行的人造卫星就在地球的引力中自由下落，它里边的宇航员就感觉到失重。更严格地陈述时，这个概念就叫做爱因斯坦的等效原理。它来自这样一个事实，所有的物体以完全相同的加速度下落，不管这些物体的质量有多大，也不管它们由什么东西构成。假如我们有一艘“依靠惯性飞行的”宇宙飞船（因此它就处于惯性运动状态），并有一位宇航员在里边，那么，支配着宇航员和飞船下落的定律是一样的。因此，如果他站在飞船的中央，他就会停留在那里。他并不相对于飞船下落。这就是我们说他“失重了”所表示的意思。

下面，假设你乘坐在一艘正在加速的火箭动力飞船中。相对于什么在加速呢？我们就只是这么说吧，它的发动机在开动，并且产生一个推力，因此，它并不是依靠惯性飞行而处于惯性运动状态。此外，还想象你在空无一物的太空中航行，因此，实际上没有一点引力作用在飞船上。假如飞船以“1g”的加速度加速前进，你就能够站在“地板”上，并感受到正常的体重。还有，如果你松手放开一个球，这个球就会朝着地板“落下去”。为什么会这样呢？因为飞船正在“朝上”加速，但是，却没有力作用到球上，因此，这个球就不会加速；它将被留在后面。在飞船

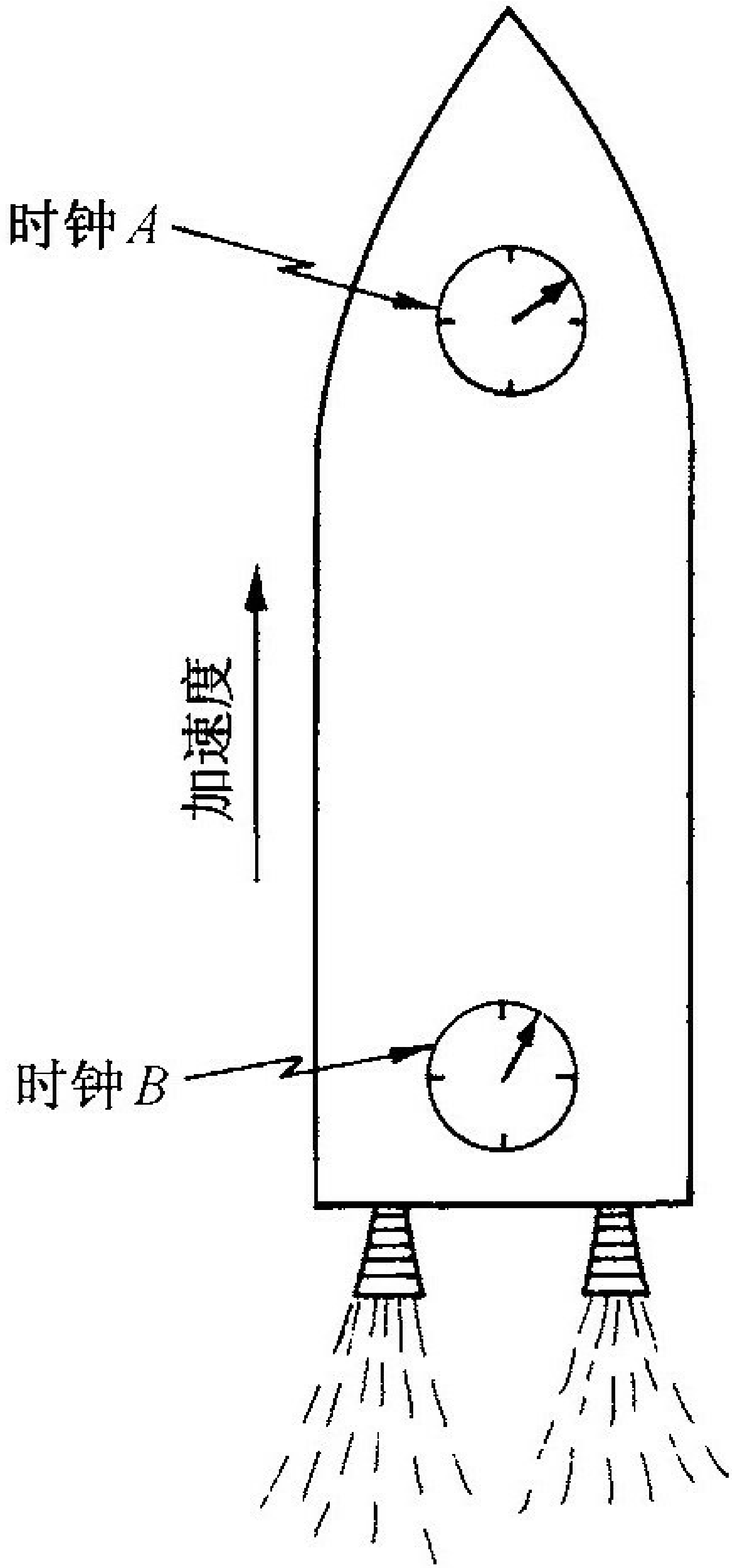
的里边，这个球就会显得好像具有一个朝下的、数值等于“1g”的加速度。

下面，我们把上述情形与在地球表面上静止不动的宇宙飞船中的情形做个比较。所有的事情都是一样的！你将受到朝向地板的力的作用，一个球将会以1g的加速度下落，如此等等。总之，在飞船的里边，你如何能够判断出，自己到底是停靠在地球的表面上，还是正在真空中加速前进呢？根据爱因斯坦的等效原理，假如你只是测量飞船里边发生的事情，那么，没有任何办法做出判断！

严格地说，上述说法只在飞船里边的一个点上是正确的。地球的引力场并不是绝对均匀的，因此，一个自由下落的球在不同的地点具有稍微不同的加速度——方向和大小都会改变。不过，假如我们想象一个严格均匀的引力场，那么，它在每一个细节上都完全由一个具有恒定加速度的系统来模拟。这就是等效原理的基本依据。

6-6　引力场中时钟的快慢

下面，我们打算利用等效原理来搞清楚在引力场中发生的一件古怪的事情。我将向大家说明在一艘火箭动力飞船中发生的一些事情，各位大概不曾预期过这些事情会在引力场中发生。设想我们把一个时钟放置在火箭动力飞船的“船头”（即放置在“前”端），并把另一个同样的时钟放置在“船尾”，如图6-16所示，我们就把这两个时钟叫做*A*和*B*吧。如果我们在飞船正在加速时比较这两个时钟，放置在船头的时钟相对于放置在船尾的时钟来说，看起来就要走得快一些。为了理解这一点，想象前面的时钟每隔1秒发射一束闪光，而你则坐在船尾对时钟*B*的滴答声与闪光的到达做比较。假定当时钟*A*发射一束闪光时，飞船在图6-17的*a*处，当这束闪光到达时钟*B*时，飞船在*b*处。稍后，当时钟*A*发射下一束闪光时，飞船将在*c*处，而当你看到这束闪光到达时钟*B*时，飞船将在*d*处。



时钟 A
加速度
时钟 B

图6-16　一艘带着两个时钟的正在加速的火箭动力飞船

第一束闪光走过一段距离L_1，而第二束闪光则走过一段较短的距离L_2。距离较短的原因是飞船正在加速，因而在第二束闪光发射时具有较高的速度。于是，大家就能够明白，假如这两束闪光是从时钟*A*处相隔1秒发射出来的，那么，它们就会以稍微小于1秒的间隔到达时钟*B*处，因为第二束闪光在传播途中并没有花那么长的时间。对于所有随后的闪光，也都会出现同样的情况。因此，假如你正坐在船尾，那么，你就会断定，时钟*A*走得比时钟*B*更快。假如你打算反方向做同样的事情，即让时钟*B*发射闪光而在时钟*A*处观测，那么，你将会断定*B*走得比*A*更慢。所有的事情都吻合得天衣无缝，完全没有什么不可思议的事情发生。

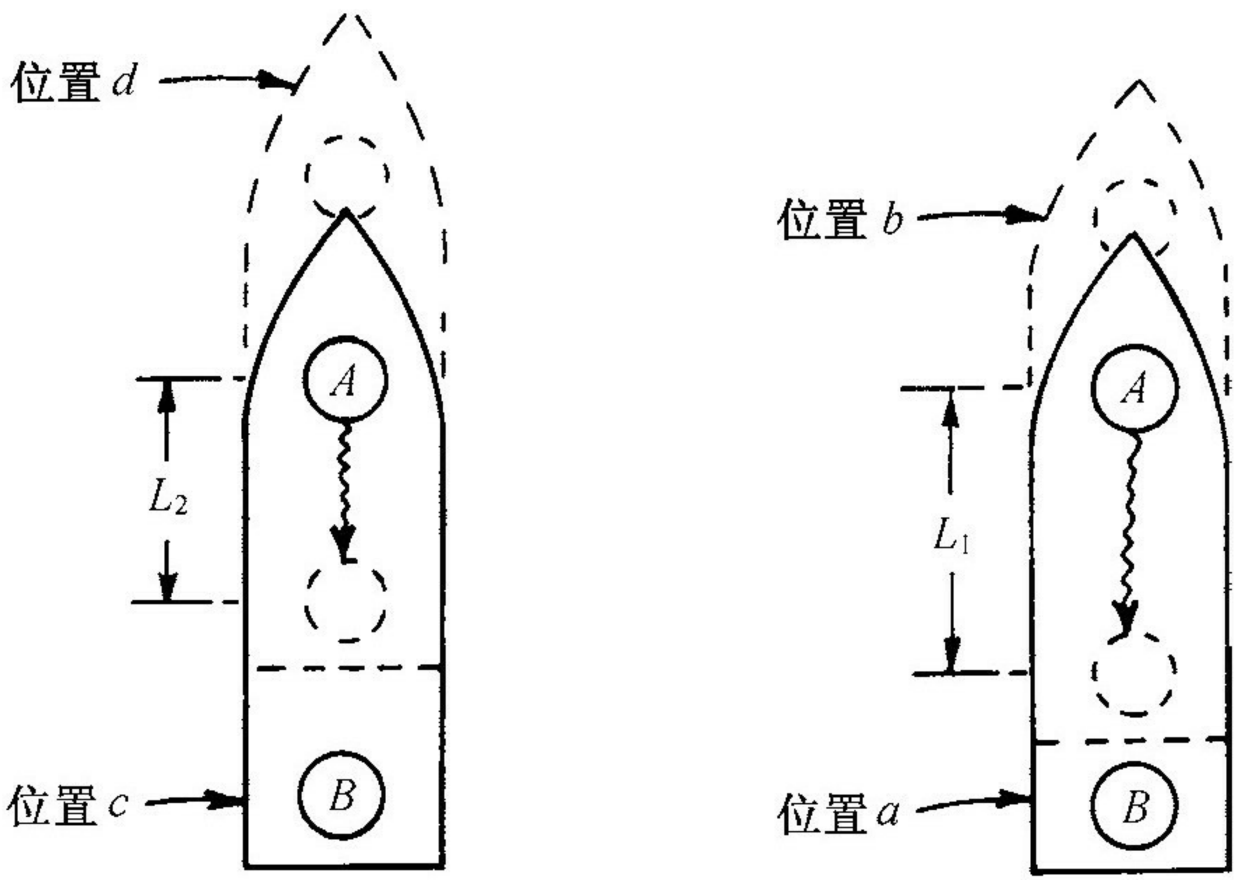


图6-17　在一艘加速前进的火箭动力飞船中，放置在船头的时钟看起来比放置在船

尾的时钟走得更快

现在，我们来考虑静止在地球的引力场中的火箭动力飞船。同样的事情发生了。假如你带着一个时钟坐在地板上，并留意着另一个放置在高高的架子上的时钟，就会看到这个时钟比放置在地板上的时钟走得更快！你会说，“可这是不对的。两个时钟走过的时间应该一样。没有加速度，时钟看上去步调不一致，这没有任何理由。”不过，如果等效原理是正确的，情况就必定是这样的。爱因斯坦坚持认为这条原理本来就是正确的，并且大胆而恰如其分地干下去。他指出，放置在引力场中不同地点的时钟看起来必定走得快慢不一样。可是，如果一个时钟看起来总是与另一个时钟走得快慢不一样，那么，就第一个时钟而言，另一个时钟就会以不同的计时速率运转。

现在大家看到了吧，我们得到了与前述的热尺子时钟类似的东西，当时，我们让一只虫子呆在一块热板上。我们想象那些尺子和虫子等在各种温度下以相同的方式改变长度，这样，当它们在热板上四处活动时，根本不会知道它们的量尺在不断改变。处于引力场中的时钟具有同样的特性。我们放置在较高处的每一个时钟看起来都走得更快。心跳更快，所有的过程都进展得更快。

假如不是这样的话，我们就能够区分一个引力场与一个加速参考系之间的差别了。时间能够在各点不一样是一个非常难以理解的观念，不过，它是爱因斯坦所用过的观念，而且是正确的观念——信还是不信，悉听尊便。

利用等效原理能够搞清楚，一个时钟的快慢在引力场中如何随着高度而改变。我们只计算在一艘正在加速的火箭动力飞船中，两个时钟之间的表观差别。做这件事情最简单的方法是利用我们在第一卷第34章[14]有关多普勒问题中得出的结果。在那里，我们发现[参见原《物理学讲义》公式（34.14）]，假如v是发射源与接收器之间的相对速度，那

么，接收频率ω通过以下公式与发射频率ω_0相联系

$$\omega = \omega_0 \frac{1 + v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \tag{6.4}$$

现在，假如我们考虑图6-17中正在加速的火箭动力飞船，发射器和接收器在任意瞬间都以相等的速度运动。但是，在光信号从时钟A传播到时钟B这段时间内，飞船已经加大了速度。事实上，它已经获得了gt大小的附加速度，其中g是加速度，t是光从A传播到B这段距离H所需要的时间。这段时间非常接近H/c。因此，当信号到达B时，飞船的速度已经增加了gH/c。在信号到达接收器的一瞬间，接收器相对于发射器总是具有这个速度。因此，这个速度就是我们将要用在多普勒频移公式（6.4）中的速度。假定飞船的加速度和长度都足够小，使得这个速度比c小得多，于是就可以忽略平方项v^2/c^2。由此得到

$$\omega = \omega_0 \left(1 + \frac{gH}{c^2}\right). \tag{6.5}$$

这样，对于放置在飞船上的这两个时钟就得到如下关系：

接收器的速率＝发射器的速率（$1+gH/c^2$） （6.6）

其中H是发射器高出接收器的高度。

利用等效原理可以得出，在自由下落加速度等于g的引力场中，由高度H分隔开的两个时钟必定具有相同的结果。

这是一个如此重要的观念，因此，我们愿意证明它也是根据物理学

的另一条定律即能量守恒定律得出的。我们知道，作用在一个物体上的万有引力正比于它的质量M，质量通过公式M=E/c^2与其总内能E相联系。例如，由核反应的能量确定下来的原子核的质量，以及由原子的重量得到的质量，两者是相一致的。核反应使一个原子核蜕变成另一个原子核。

下面，考虑这样一个原子，它具有一个总能量为E_0的最低的能态和一个较高的能态E_1，它能够通过发光而从E_1态跳到E_0态。发出的光的频率ω由下式给出：

$$\hbar\omega = E_1 - E_0. \tag{6.7}$$

现在，假设有这样一个处于E_1态的原子，它静止在地板上，我们把它从地板的位置带到高度为H的位置。为了做到这一点，我们在把质量m_1=E_1/c^2往上提时，必须克服万有引力做一些功。所做的功的数值是

$$\frac{E_1}{c^2}gH. \tag{6.8}$$

接着，让这个原子发射一个光子并跳到较低的能态E_0。随后，把这个原子带回地板上。在回程中质量等于E_0/c^2；我们取回了以下数值的能量

$$\frac{E_0}{c^2}gH, \tag{6.9}$$

这样，我们就做了等于以下数值的净功

$$\Delta U = \frac{E_1 - E_0}{c^2} gH. \tag{6.10}$$

这个原子在发射光子时要释放出能量E_1-E_0。现在，假设释放出的光子正好向下传播到地板处并被吸收。这个光子在那里会交出多少能量呢？初看起来大家也许会认为，它将交出正好E_1-E_0那么多的能量。可是，如果能量守恒的话，就不可能这样，看一看下面的讨论大家就会明白了。我们以在地板处具有能量E_1开始。整个过程结束时，地板处具有的能量是原子处于其较低能态时的能量E_0加上从光子中得到的能量E_{ph}。其间我们必须提供由公式（6.10）给出的附加能量ΔU。如果能量是守恒的，那么，结束时地板处的能量必定大于开始时的能量，多出的能量值正好是我们所做的功。即必定有如下结果

$$\frac{E_0}{c^2} gH, \tag{6.9}$$

或者

$$\Delta U = \frac{E_1 - E_0}{c^2} gH. \tag{6.10}$$

事情必定是这样的，这个光子不会带着正好等于被发射时具有的能量E_1-E_0到达地板处，而是带着更多一些能量。不然的话，就会有一些能量丢失了。如果将由公式（6.10）算出的ΔU代入公式（6.11）中，就得出光子带着以下数值的能量到达地板处

$$E_{ph} = (E_1 - E_0)\left(1 + \frac{gH}{c^2}\right). \tag{6.12}$$

可是，一个能量等于E_{ph}的光子的频率$\omega = E_{ph}/\hbar$。用ω_0表示被发射的光子的

频率——根据公式（6.7），它等于$(E_1-E_0)/\hbar$——公式（6.12）的结果再次给出光子在地板处被吸收时的频率与被发射时的频率之间的关系式（6.5）。

还可以用另一种方法得出相同的结果。一个频率为ω_0的光子具有能量 $E_0=\hbar\omega_0$。由于能量E_0具有引力质量E_0/c^2，因此，光子具有质量（不是静质量）$\hbar\omega_0/c^2$，要被地球“吸引”。在下落距离H的过程中，它将获得附加的能量（$\hbar\omega_0/c^2$）gH，因此，它到达地板时具有如下的能量

$$E=\hbar\omega_0\left(1+\frac{gH}{c^2}\right),$$

然而，在下落之后它的频率是$E/\hbar$，这又一次给出公式（6.5）中的结果。只有当爱因斯坦有关引力场中的时钟的预言正确无误时，有关相对论、量子物理学和能量守恒的观念才会全部吻合。在一般情况下，我们正在讨论的频率改变是非常小的。比如说，在地球表面上，20米的高度差引起的频率差异只有大约2×10-*15*。然而，就是这样一个改变，最近已经利用穆斯堡尔效应从实验上探测到。[15]爱因斯坦完全正确。

6-7　时空的曲率

下面，我们要把刚刚讨论过的问题与弯曲时空的观念联系起来。我们已经指出，假如在不同的地点时间以不同的速率演进，那么，它就类似于热板那样的弯曲空间。不过，这不仅是一个类比；它意味着时空确实是弯曲的。让我们尝试考虑时空中的某些几何学问题吧。乍一听这可能有点特别，不过，我们曾经多次画过时空图，图中距离沿着一根轴

画，时间则沿着另一根轴画。设想我们尝试在时空中画一个矩形。首先按照图6-18（a）的样子绘制一个高度*H*对时间的关系图。为了画出矩形的底部，找一个静止于高度H_1处的物体，沿着它的世界线画出100秒。我们得到图6-18（b）中的BD线，它平行于*t*轴。接着，找另一个在*t*=0时刻位于第一个物体上方100英尺处的物体。它在图6-18（c）中开始于*A*点。接着，沿着它的世界线根据*A*处的时钟画出100秒。这个物体从*A*一直画到*C*，如图6-18（d）所示。但是，注意到由于在两个高度处时间走得快慢不一样（假定存在一个引力场），*C*和*D*这两点并不同时。假如我们如图6-18（e）所示那样，向同一时刻位于*D*点上方100英尺处的*C*′点画一条线，试图这样来把正方形画好，这个正方形就不会闭合。这就是我们说“时空是弯曲的”这句话所要表达的意思。

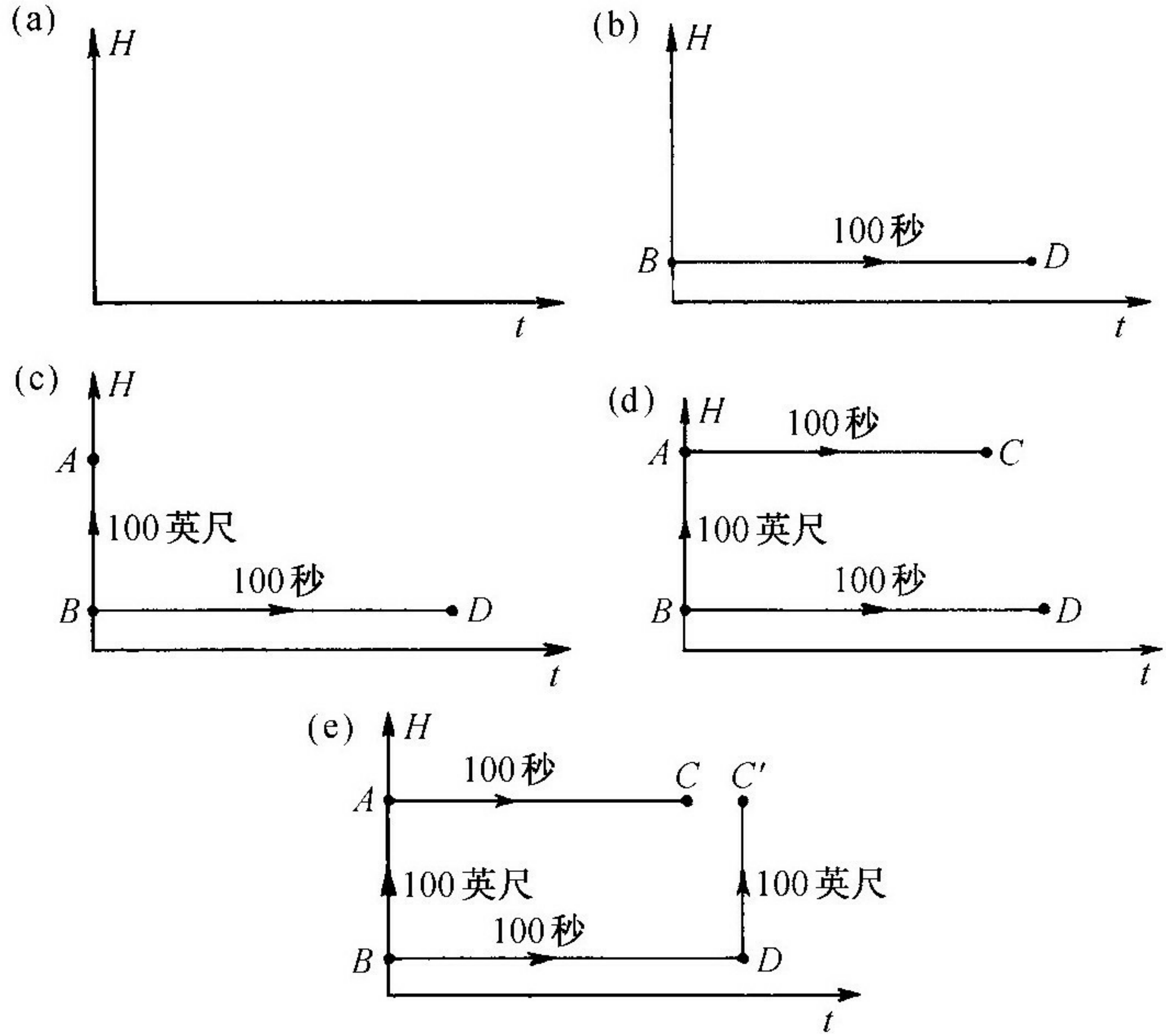


图6-18　在时空中尝试画一个矩形

6-8　在弯曲的时空中运动

我们来考虑一个有趣的智力小游戏。有两个同样的时钟*A*和*B*，它们如图6-19那样一起被放置在地球的表面上。现在，我们把时钟*A*提到某个高度*H*，在那里停留片刻，再把它放回地面，使得它刚好在时钟*B*走过100秒时回到原来的位置。这时，时钟*A*将走过大约107秒，原因是，它在被提到空中时要走得更快。下面就是我们要考虑的难题了。我们应该怎样移动时钟*A*才能使它尽可能走过最长的时间——始终假定它

在时钟*B*走过100秒时返回？大家会认为，“这很简单。只要把它举得尽可能地高就行了。结果，它就会走得尽可能地快，这样，当你回来的时候，这个时钟就会走过最长的时间。”不对。你忘记了某些东西，我们只有100秒的往返时间。假如我们上升得非常高，那么，为了在100秒内到达那里并返回，就必须上升得非常快。但不要忘记狭义相对论效应，它导致运动的时钟按照因子$\sqrt{1-v^2/c^2}$的倍数走慢了。这个相对论效应趋向于使时钟*A*的读数小于时钟*B*的读数。大家看到了，这有点像玩某种策略游戏。假如我们带着时钟*A*站着不动，就经历100秒。假如我们慢慢地升高一点点再慢慢地下来，就会经历比100秒更长一些的时间。假如我们上升得更高一些，也许就会经历更长一些的时间。可是，假如我们上升得太高了，那么，为了到达那里，就必须快速地上升，这就有可能使时钟变慢得足以在小于100秒时回到出发点。高度与时间成怎样的函数关系——即上升多大的高度，用多大的速度到达那里，把这些因素仔细调节好，使得我们在时钟*B*走过100秒时回到出发点——才会使时钟*A*的时间读数尽可能达到最大呢？

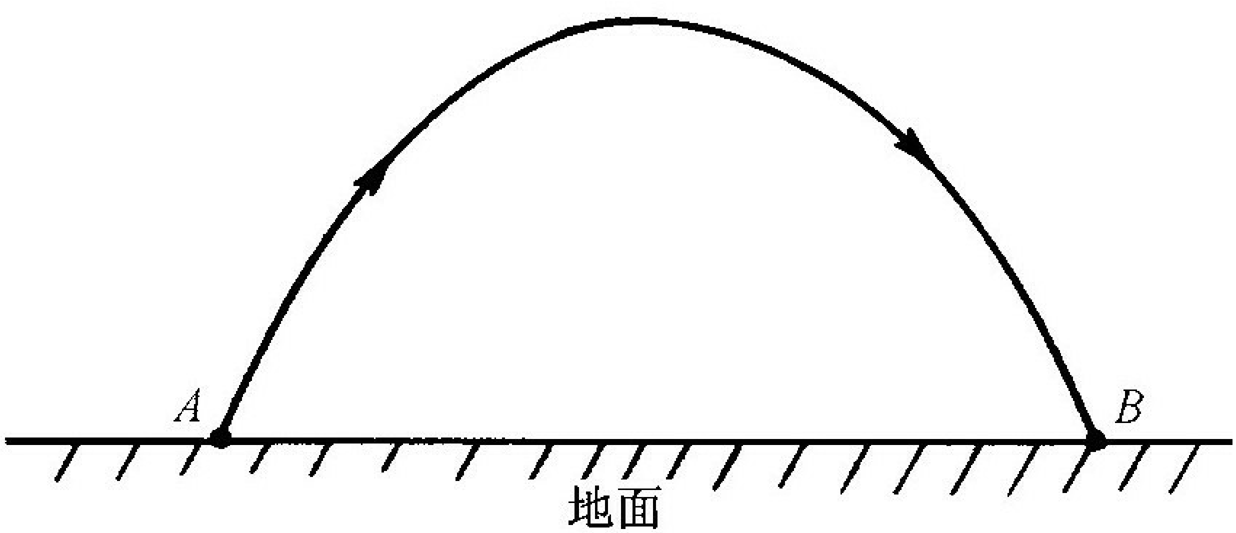


图6-19　在一个均匀的引力场中，对一段确定的持续时间，具有最大原时的轨迹是一条抛物线

答案是：计算一下需要多大的速度把一个球扔到空中，使得它刚好

在经过了100秒时回落到地面上。这个球的运动过程——快速上升，减慢，停下来，往回下落——正好就是所要求的运动过程，它使固定在球上的手表显示的时间达到最大。

下面考虑一个稍微不一样的游戏。在地球的表面有两个相互隔开一段距离的点A和B。我们来玩一个前面玩过的游戏，找出我们称之为直线的线段。我们要问，从A到B应该怎样走才能使我们随身带着的手表走过最长的时间——假定出现一个给定的信号时我们就在A点动身，而当B点出现另一个信号时就到达B点，这第二个信号在一个固定的时钟走过，比如说，100秒时出现。大家马上会说“唔，我们以前就得出，要做的事情就是沿着一条直线以一个选定的均匀速度惯性滑行，以便正好在100秒后到达B点。假如我们不沿着一条直线运动，就需要更高的速度，而我们的手表就会慢下来。”可是先别着急！这是还没有考虑引力时的情况。把轨迹往上弯一点点，然后再把它弯下来不是更好吗？于是，在某一段时间内，我们不就会上升得高一点，而我们的手表不就会走得快一点吗？确实是这样的。假如你去求解这个数学问题，即调整运动曲线以便使运动手表所经历的时间尽可能达到最大，就会发现，这个运动是一个抛物线运动——在引力场中沿着无阻力弹道轨道运动的物体具有相同的曲线，如图6-19所示。因此，在引力场中的运动定律也可以这样陈述：一个物体总是按照这样的方式从一个地点运动到另一个地点，使得一个固定在它上面的时钟所走过的时间，比按照任何其他可能的轨迹运动时走过的时间更长——当然是在相同的起始条件和结束条件下进行。由一个运动的时钟所测得的时间常常叫做“原时”。在自由下落中，这条轨迹使一个物体的原时达到最大。

我们来看一看这一切是如何进行的。我们从公式（6.5）开始，这个公式给出运动时钟的超出率为

$$\frac{\omega_0 gH}{c^2}. \tag{6.13}$$

除此之外，我们还必须记住，运动速度还会引起一个符号相反的改正。我们知道这个效应的形式是

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

虽然这个规则适用于任意的速率，不过，我们取一个速率始终远小于c的例子。于是可以将这个公式写成

$$\omega = \omega_0 (1 - v^2 / 2c^2).$$

而时钟的计时速率的亏损量就等于

$$-\omega_0 \frac{v^2}{2c^2}. \tag{6.14}$$

将（6.13）和（6.14）这两项做比较就得出

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{c^2}\left(gH - \frac{v^2}{2}\right). \tag{6.15}$$

运动时钟的这种频率变化意味着，假如我们用一个固定不动的时钟测量一段时间间隔*dt*，那么，运动时钟将记录到这样一个时间间隔

$$dt\left[1+\left(\frac{gH}{c^2}-\frac{v^2}{2c^2}\right)\right]. \qquad (6.16)$$

沿着整条轨迹的时间超出总量等于上式中多出的两项对时间做积分，即

$$\frac{1}{c^2}\int\left(gH-\frac{v^2}{2}\right)dt. \qquad (6.17)$$

这应该就是一个最大值。

*gH*这一项正好就是引力势*φ*。我们把整个公式乘上一个常数因子$-mc^2$看看会有什么结果，其中*m*是物体的质量。乘上一个常数并不会改变取最大值的条件，而负号只是把最大值变成最小值而已。于是，公式（6.16）表示物体将按照如下条件运动

$$\int\left(\frac{mv^2}{2}-m\phi\right)dt=\text{最小值} \qquad (6.18)$$

上式中被积函数只不过是动能与势能之差。如果大家翻阅一下第二卷第19章[16]，就会看到，在讨论最小作用量原理时证明过，在任意势场中，一个物体满足的牛顿定律完全可以按照公式（6.18）的形式写出。

6-9　爱因斯坦的引力理论

运动方程的爱因斯坦形式——在弯曲空间中原时应该达到最大——在低速状态下给出与牛顿定律相同的结果。与卫星沿着大家能够想象出

的任何其他路径运动的情形比较，当戈登·库珀做环球航行时，他的手表走得更慢。[17]

因此，引力定律可以用时空几何学的概念以这种不寻常的方式陈述出来。粒子总是取最长的原时——一个在时空中类似于“最短距离”的物理量。这就是在引力场中的运动定律。把这个定律写成这种形式的主要优点是，它不依赖于任何坐标系，也不依赖于确定位置的任何其他方式。

下面来总结一下我们都做了些什么。我给各位讲述了两条引力定律：

（1）有物质存在时，时空的几何结构怎样变化——明确地说就是，用半径超出量表示的曲率正比于球内的质量，参见（6.3）式。

（2）假如只存在引力，物体怎样运动——明确地说就是，物体要按照这样的方式运动，使得它们在两个边界条件之间的原时是最大的。

这两条定律对应于我们早些时候讨论过的两条熟悉的定律。我们原先用牛顿有关万有引力的平方反比律和他的运动定律来描写在引力场中的运动。现在它们被前面写出的定律（1）和定律（2）取代了。这两条新的定律还对应于我们在电动力学中讨论过的定律。我们在那里讨论了由电荷产生的场所满足的规律——麦克斯韦方程组。它描述“空间”的性质如何因带电物质的出现而改变，在引力场的情况下，这是定律（1）所要解决的问题。此外，我们还讨论了有关粒子在给定的场中如何运动的规律——$d(mv)/dt=q(E+v\times B)$。在引力场的情况下，这个任务由定律（2）来负责。

大家从定律（1）和定律（2）中知道了爱因斯坦的引力理论的准确的陈述方式——尽管大家通常都会发现，这个理论用一种更复杂的数学

形式来陈述。不过，我们还是要做进一步的补充。正如时间的标度在引力场中随着位置而改变那样，长度的标尺也是这样的。当你到处漫游时，尺子就要改变长度。由于空间与时间结合得如此密切，因此，随着时间而发生的事情不可能不以某种方式反映到空间中来。举一个最简单的例子吧：你正飞越地球。在你看来的所谓“时间”，有一部分对我们来说是空间。因此，空间也必定起了变化。其实是整个时空由于物质的存在而被扭曲了，这个变化比只有时间标度的变化要复杂得多。不过，公式（6.3）给出的规则足以完全确定有关引力的所有规律，条件是，关于空间曲率的这个规则理所当然地不仅适用于某一个观测者，而且在所有观测者看来都是正确的。某个飞越一团物质的观测者观测到不同的质量，原因就是他所观测到的该物体掠他而过时的动能，他必须把对应于这个能量的质量算进去。这个理论必须按照这样的方式构造，使得每一个观测者——不管他如何运动——在画出一个球时就会发觉，其半径超出量是$G/3c^2$乘球内的总质量（或者更确切地说是$G/3c^4$乘球内的总能量）。这条定律，即定律（1）在任意运动的参考系中都应该成立，是重要的引力定律之一，叫做爱因斯坦的场方程。另一条重要的定律就是定律（2），即物体必须按照这样的方式运动，使得原时达到最大，叫做爱因斯坦的运动方程。

要把这些定律用完整的代数式写出来，要把它们与牛顿定律做比较，或者要把它们与电动力学联系起来，在数学上是很难的。不过，这正是今天有关引力物理学方面的最完整的定律所要寻找的发展方向。

尽管这些定律在我们考虑过的简单的例子中给出了一个与牛顿力学相一致的结果，但它们并不总是这样的。由爱因斯坦首先推导出的三个偏差值已经在实验上得到证实，它们是：水星的轨道并不是一个固定的椭圆；掠过太阳附近的星光要发生偏折，偏折量等于各位大概会预料到的值的两倍；时钟的快慢依赖于它们在引力场中所处的位置。每当人们发现爱因斯坦的预言与牛顿力学的观念不一致时，大自然就选择了爱因

斯坦的预言。

下面总结一下我们讲述过的问题。首先，时间的快慢和距离的大小依赖于进行测量时所处的位置和时刻。这与时空弯曲的说法是等价的。用一个球的实测面积能够确定一个预期的半径$\sqrt{A/4\pi}$，但是，实测半径将会有一个超出量，它正比于球内所含的质量（比例常数是G/c^2）。这个超出量确定了时空弯曲的确切程度。不管谁在观测空间中的物质，也不管这些物质怎样运动，曲率的数值必定是一样的。其次，粒子在这个弯曲的时空中沿“直线”（最大原时的轨迹）运动。这就是爱因斯坦的引力定律的真正含义。

理查德·费曼生平

理查德·费曼于1918年出生于布鲁克林[18]，1942年在普林斯顿获得博士学位。在第二次世界大战期间，尽管他年纪轻轻，就在洛斯阿拉莫斯的曼哈顿计划中起了重要的作用。战后，他在康奈尔大学和加州理工学院任教。于1965年与朝永振一郎和朱利安·施温格一起获得诺贝尔物理学奖。

费曼博士由于成功地解决了量子电动力学理论方面的问题而获得了诺贝尔奖。他还创立了一个解释液氦中的超流现象的数学理论。此后，又与默里·盖尔曼一起在诸如β衰变等弱相互作用领域从事开创性的工作。在随后的岁月里，费曼提出了高能质子碰撞过程的部分子模型，在夸克理论的发展中起了关键的作用。

除了这些成就之外，费曼博士还在物理学中引入了基础性的新的计算方法和符号，特别是无处不在的费曼图，它也许比近代科学史上任何其他的形式体系更多地改变了人们对基本物理过程进行概念化和计算的方式。

费曼是一位卓有成效的教育家。在他所获得的众多的奖项中，他特别欣赏1972年获得的奥斯特教学勋章。1963年初版的费曼《物理学讲义》被《科学美国人》杂志的评论家誉为“难啃的但却营养丰富的美味佳肴。25年之后，它成为教师和大学新生中佼佼者的指南”。为了使广大非专业人士更多地了解物理学，费曼博士还写了《物理定律的本性》与《QED：光与物质的奇妙理论》。他还写过许多高深的论著，这些都成了研究者和学生的经典参考文献和教科书。

理查德·费曼是一位建设性的公共人物。他在“挑战者”号事故调查委员会中的工作是街知巷闻的，尤其是他证明O形环对寒冷的敏感性的出色演示，这个精彩的演示需要的只不过是一杯冰水而已。比较鲜为人知的是费曼博士在20世纪60年代为加州的课程委员会劳心费神所做的事情，当时，他对教科书的平庸无奇提出了质疑。

列举理查德·费曼在科学和教育方面的无数成就并不能充分反映他的本性。甚至他专业论著的读者也知道，费曼活泼和多面的个性闪耀在他全部的工作中。他不仅是一位物理学家，在不同的时期，他还是收音机修理工、开锁匠、艺术家、舞蹈家、手鼓表演者，甚至还是玛雅象形文字的翻译。他是一个模范的经验主义者，永远对身边的世界感到好奇。

理查德·费曼于1988年2月15日在洛杉矶去世。

[1]戴森的引文可以分别从他的著作*From Eros to Gaia*（Pantheon books, New York，1992）第325页和第314页中找到。

[2]引自相对论领域的开创性文献，由爱因斯坦、洛伦兹、外尔和明可夫斯基合写的《相对论原理》（Methuen and Co.1923年初版）的多佛重印本。

[3]吉本（Edward Gibbon），1737～1794，18世纪英国著名历史学家，《罗马帝国衰亡史》作者。

[4]在排版中，矢量用黑体表示；在手写时则用一个箭头表示：$\vec{r}$。

[5]参见原《物理学讲义》第一卷。

[6]参见原《物理学讲义》第一卷。

[7]参见原《物理学讲义》第一卷。

[8]实际上，由于空气对光的折射率，电子会赢得这场与可见光的比赛。伽马射线则可能会胜出。

[9]参见原《物理学讲义》第一卷。

[10]参见原《物理学讲义》第一卷。

[11]我们应该提一下关于完整性的另外一个要点。假如你想把有关弯曲空间的热板模型扩展到三维，就必须想象，尺子的长度不仅依赖于它所处的位置，而且还依赖于把它放下时它所指的方向。这是尺子的长度依赖于所处的位置这种简单情形的一个推广，不过当指向南北、东西和上下时是相同的。假如你想用具有这种模型的任意几何体系来表示一个三维空间，那么，把它推广是必需的，尽管对于二维而言碰巧没有这种需要。

[12]没有任何人（包括爱因斯坦）知道，如果物质集中在多个点上应该如何处理。

[13]是近似的，原因是密度并非像我们设想的那样与半径无关。

[14]参见原《物理学讲义》。

[15]*R.V.Pound and G.A.Rebka, Jr.*，*Physical Review Letters* Vol.4，p.337（1960）.

[16]见原《物理学讲义》。

[17]严格地说，这只是一个局部的最大。我们应该这样来表述：这个原时比任何邻近的路径的原时大。例如，在射得非常高并向下回落的物体的抛物线轨道上的原时，与之相比，在围绕地球的椭圆轨道上，原时就无需更长。

[18]美国纽约市西南部的一个区。——译者注

#1

#2

#3

#4

#5

#6

#7

引力定律——物理定律的一个例子
The Law of Gravitation, an example of Physical Law

数学同物理学的关系
The Relation of Mathematics to Physics

伟大的守恒定律
The Great Conservation Principles

物理定律中的对称性
Symmetry in Physical Law

过去与未来的区分
The Distinction of Past and Future

概率和不确定性——对自然界的量子力学观点
Probability and Uncertainty—the Quantum Mechanical View of Nature

寻找新定律
Seeking New Laws

The Character of Physical Law

物理定律的本性

Richard P. Feynman

[美] 理查德·费曼 著

关洪 译

湖南科学技术出版社

版权信息

物理定律的本性

著者：（美）理查德·费曼

翻译：关洪

责任编辑：吴炜　陈刚　李蓓

书籍设计：李星霖　邵年

ISBN：9787571000158

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息
出版前言
致 辞
引 言
第1章 引力定律——物理定律的一个例子
第2章 数学同物理学的关系
第3章 伟大的守恒定律
第4章 物理定律中的对称性
第5章 过去与未来的区分
第6章 概率和不确定性——对自然界的量子力学观点
第7章 寻找新定律
译后记
附录 费曼小传

出版前言

斯利斯

BBC实况广播制作人

科学与特写部　1965年6月

本书分七章，是费曼教授在美国康奈尔大学所做的梅森哲讲座系列讲演。这些讲演的听众，是希望更加普遍地了解“物理定律的本性”的大学生。这些讲演并不是按照准备好的稿子宣讲的，而是根据一份简略的纲要即席发挥的。

在康奈尔大学，从1924年起就每年举行梅森哲讲座。在那一年，数学系的一位毕业生、后来的教授梅森哲（Hiram J.Messenger）捐助了一笔款项，以促进世界各地的著名人士来康奈尔大学访问并对学生们发表讲演。在设立这项讲座基金的时候，梅森哲就规定其用于“提供关于文明进步，特别是为了提高我们的政治、商业和社会生活的道德基准的单次讲演或者系列讲演的讲座”。

1964年11月，杰出的物理学家和教育家费曼（Richard P.Feynman）教授被邀请来做1964年度的讲座。他以前是康奈尔大学的教授，现在是加州理工学院的理论物理学教授。他最近成为英国皇家学会（FRS）的一位国外成员，不仅以其对物理学定律的当今理解的贡献，也以其把他的题目生动地讲授给非物理学家的本领而著称。

本书的各章是他各次讲演的记录，这些讲演是在一个使费曼教授得以不受拘束地表演他的口才和姿态的大讲台上做出的。他具有作为一位演说家的国际声誉，而且亦以其激动人心的讲授风格而闻名。本书准备为那些电视观众提供一种引导性的或者记忆性的帮助，他们观看了讲演的播出之后，还希望得到一种可供随时参考的文字读物。虽然本书怎么说都不能当成一本教科书，但对于那些追求对物理学定律的清晰理解的物理系学生，他们将会由此受到许多启示。

英国广播公司（BBC）的第一套节目（BBC1）先前已经与费曼教授很熟悉了，他是在菲利普·达利（Philip Daly）制作的《处在物质中心的人们》的节目中被邀请的物理学家之一；并且费曼也以他关于“奇异数为负三”的光辉贡献而闻名，那是关于1964年科学新发现的最具吸引力的节目之一。

当BBC的“科学与特写”部门知道了费曼教授要做梅森哲讲座的讲演时，对此很感兴趣，赶去拍摄了讲演的全过程。这一系列讲演在BBC的第二套节目（BBC2）中作为“继续教育计划”的一部分播出，延续了先前由一批杰出科学家比如邦迪（Bondi）讲的相对论、肯德鲁（Kendrew）讲的分子生物学、莫里森（Morrison）讲的量子力学和珀特（Porter）讲的热力学等多次讲演的风格。

你们要读到的是那次系列讲演的文字记录。费曼教授核对了其中科学内容的精确性。我的助手霍尔姆斯（Fiona Holmes）和我整理了原来的口头语言，写成适于印制的书面文字。我们希望本书能被大家接受。与费曼合作真是一种难得的经历，我们相信观众们和读者们都会从这一策划中受益良多。

BBC感谢康奈尔大学新闻处允许我们复制图版2，并且感谢加州理工学院允许我们复制在第一章里所用到的其他照片和插图。

想要更加详细地学习费曼教授的著作的学生们，应该会对在康奈尔大学教务长的致辞里提到的费曼的一套教科书感兴趣，它就是由加州理工学院出版的《费曼物理学讲义》（The Feynman Lectures on Physics）。

致　辞

康奈尔大学教务长

戴勒·R.科尔森（Dale R.Corson）

为1964年度梅森哲讲座所作的介绍词

女士们和先生们，我很荣幸来介绍梅森哲讲座的讲演者，加州理工学院的费曼教授。

费曼教授是一位杰出的理论物理学家，他在从标志着战后物理学突飞猛进时期的大混乱中整理出头绪来的工作里，做出了重大的贡献。在他所得到的许多荣誉和奖赏中，我只提到1954年的爱因斯坦奖就够了[1]。这是一个每三年颁发一次的奖项，包括一枚金质奖章和一笔可观的奖金。

费曼教授在麻省理工学院（MIT）完成他的本科学业，在普林斯顿大学读完研究生。他先在普林斯顿，后在洛斯阿拉莫斯参加了曼哈顿计划。1944年他被任命为康奈尔大学的助理教授，虽然在战争结束之前他没有到任。我想看看他在被康奈尔任命的时候人们是怎样说他的，这也许是一件有趣的事情。因此我在我们大学的董事会会议记录里寻找……而那里根本没有关于他任命的记录。不过，还有约摸20份关于他请假、提薪和升职的文件留在那里。其中一份文件特别引起了我的兴趣。1945年7月31日，物理系的主任致函给文学院的院长说，“费曼博士是一位出色的教师和研究人员，像他这样的人才是很罕见的”。

系主任提出说，像费曼这样一位杰出的教授，年薪三千美元是少了一点，并且建议给费曼的年薪增加九百美元。而那位院长则以一种不寻常的慷慨大度，并且完全不顾学校出不出得起，大笔一挥将九百美元这几个字划掉，改成了一千美元。你们可以由此看到，我们甚至在那时候就已经高度评价费曼教授了！费曼在1945年年底到我们这里上任，并且在我们的教授队伍里度过了富有成果的5年。他在1950年离开康奈尔大学去了加州理工学院，此后一直留在那里。

在我请他讲演之前，我想告诉你们一点他的事情。三四年前，他在加州理工学院开始讲授一门基础物理学的课程，结果使他又博得了更广泛的声誉——他的讲义现在出版了两卷[2]，它们为物理学的教育带来了一种耳目一新的方式。

在出版的讲义的序言页上有一幅费曼在欢快地演奏着邦戈鼓的相片。我在加州理工学院的朋友们告诉我，有时候他会偶然出现在洛杉矶的夜间娱乐场所里，客串鼓手的角色；不过费曼教授则对我说没这回事。他的另一个特长是打开保险柜。传说他有一次打开了在一处保密设施里的一个锁好了的保险柜，拿走了一份机密文件，并且留下了一张条子，上面写着“猜猜是谁？”我还可以告诉你们有一次他在要去巴西讲学之前怎么样学习西班牙语的故事，不过还是省了吧。

我想，我已经向你们介绍过足够的背景材料了，因此请让我说，我很高兴欢迎费曼教授回到康奈尔来。他要讲的系列讲座的总题目是“物理定律的本性”，而他今天晚上的这一讲的题目叫作“引力定律——物理定律的一个例子”。

引　言[3]

戴维斯（Paul Davies）

阿德莱德（Adelaide）1992

科学史家们的流行做法是深入探究科学革命的意义。每一次科学革命都是伴随着一批天才而来到的，那指的是一些男人和女人，通过他们的能力和想象力迫使科学共同体破除旧的思想习惯和接纳不熟悉的新概念。天才是已经受到大量研究的一种现象，而其重要性还没有得到多少注意的，或许是称为风格的东西。然而，对于科学的进步，研究风格的改变会与通常的天才给出同样大的冲击。

理查德·费曼在罕见的天才和非凡的风格这两方面都是很突出的。生于1918年的费曼，已经赶不上参与物理学的黄金时代，那是指20世纪前30年里由于相对论和量子力学而改变了我们世界观的两次科学革命。这些根本的发展铺设了我们叫作新物理学这座大厦的基础。费曼从那些基础出发，协助建立起这座大厦的底层。他的贡献触及物理学的几乎每一个角落，并且对物理学家们的思维方式产生了深刻而持久的影响。

费曼起初在他对粒子物理的研究，特别是对叫作量子电动力学或者简称QED的研究中留下了自己的名字。量子理论实际上是从这个问题开始的。1900年普朗克提出，在那之前一直看作波动的光和其他种类的电磁辐射，在它们与物质相互作用的时候，都应当看成是能量的一些微小的份额，即“量子”。这些微粒性的量子后来叫作光子。[4]到了20世纪30

年代早期，新的量子力学的建筑师们已经建立了一种数学程式，去描写光子被像电子那样的带电粒子发射和吸收的过程。虽然这种QED的早期程式得到了某些成功，理论上却是有明显缺陷的。在20世纪40年代后期，年轻的费曼正是专注于建造一种首尾一致的QED理论这样的问题。

要把QED置于一个坚实的基础之上，需要使理论不仅与量子力学的原理，而且与狭义相对论的原理取得一致。这两种各自具有独特的数学方法以及复杂的方程系统的理论，确实能够协调和结合起来，产生一种QED的满意描述。这是由费曼和他的同代人建立的方法。然而，费曼自己是以一种全然不同的方式来考虑这个问题的；这种不同之处表现在，事实上费曼在一定程度上能够以一种直接的方式写出答案，而完全不必用到数学！

为了把这种直觉的特别技巧形象化，费曼发明了一套后来以他的名字命名的简单的图形系统即费曼图。费曼图是一种有效而明白的符号系统，用来画出当电子、光子和其他粒子相互产生作用的时候发生了什么事。今天我们依靠这些图形来进行日常的计算，但在20世纪50年代时，它们显得是对进行科学研究的传统方式的一种惊人的背离。

QED的特殊技术问题虽然是物理学发展的一块里程碑，但亦仅仅是作为费曼的独特风格的一种演示，那是反映在战后物理学的发展，以及引发了几十项重要的进展的风格。

最好把费曼的风格描写成对被普遍承认的智慧的一种尊敬和失敬的混合物。物理学是一门精密科学，而现存的知识体系虽然是不完全的，亦不能置之不理。费曼在很小的年纪就难得地掌握了物理学的现成原理，然后他选择去做几乎所有通常的问题。他不是那种局限在学科领域的浅水区兢兢业业地工作，而在需要涉足新的深度时犹豫不决的天才。他具有以一种特殊的方法进入基本的主流课题的特别才干，这意味着避开现成的程式，发展他自己依赖高度直觉的方法。当大多数理论物理学

家依靠小心谨慎的数学计算来提供一种引导和一种帮助，带领自己到不熟悉的领域的时候，费曼的态度则几乎是自由发挥的。

费曼的方法意味着不仅对严格的程式表现了一种大度的藐视，而且在他的想法和交流里运用了一种天才的非正式思路。很难传达以这种风格工作所需要的天才的深度。理论物理学是人类努力从事的最困难的事业之一，并且它的各个概念是那么微妙和抽象，那些概念通常是不能够形象化的，而且技术上的复杂性亦使得不可能一下子从整体上掌握它。大多数物理学家只能够依靠最高级的数学和概念上的修养来取得进步。然而，费曼看起来好像是稳当地驰骋在这种严格的惯常规则之上，并且不断采集新的结果，如同从知识之树上摘取成熟的果实一样。

费曼的风格在很大程度上出自他个人的性格。在他的专业工作和私人生活里，他好像把世界当作是一场巨大而有趣的游戏。物理世界向他展示了一系列迷人的谜团和挑战，而他对社会环境亦是这样看待。一位一生都爱开玩笑的人，他对权威和学术机构的态度都不大尊敬，就像对乏味的数学程式一样。谁也不乐意受愚弄，只要他发现了一些武断的或者荒唐的旧规则，他就会推翻那些规则。在他的自传性的作品里，写下了一些有趣的故事：费曼在战争期间戏弄了原子弹基地的安全措施，费曼打开锁住的保险箱，费曼消解了一群妇女的恶意攻击。他以同样的要就要不要就拉倒的方式对待他因QED的工作而获得的诺贝尔奖。

在藐视拘泥于形式的俗套之余，费曼迷恋诡秘和难解的事物。许多人会记得他对位于中亚细亚的久被遗忘的图瓦共和国的着迷，他是那么高兴地被一部有关的纪录片迷住了，那是在他1988年去世之前不久制作的。他的另一些热心的消遣，包括了演奏邦戈鼓，绘画，常去表演脱衣舞的俱乐部，以及解读古代的玛雅文字。

费曼对生活并且特别对物理学的这种随心所欲的态度，无疑使得他成为这样一个超级的传播者。在他工作的加州理工学院，费曼不常做正

式的讲课，甚至亦花不了多少时间来指导他的博士生。然而只要适合他的意愿，他就能给出辉煌的讲演，展示所有智慧的火花、洞察的见识，以及对于有关他的研究工作的随意发挥。

在20世纪60年代中期，费曼被邀请到纽约州的康奈尔大学做了关于物理定律的本性的一系列普及讲座。这些讲座由英国广播公司（BBC）作为电视节目记录下来，后来又由BBC出版了一部书。我在60年代后期还是一名青年学生的时候得到了一本，发现这些讲座是很吸引人的。给我深刻印象的主要是费曼能从最朴实的概念出发讨论物理观念的方式，其中几乎不用数学，并且很少用到专门的术语。他掌握了那样的窍门，能够从恰好的比拟或者日常的例子讲出一条非常深刻的原理的本质，而不会被一些附带的或者次要的细节所蒙蔽。在我的整个专业生涯里，我总记得他关于能量守恒定律同尝试用湿毛巾去擦干你的身体这个问题的卓越譬喻。

在这些讲演里选择的各个课题，并不打算成为现代物理学的一种综合性的概述。它们更适合看作是用费曼的眼光看待潜藏在物理学理论的心脏部位的问题和谜团的观点。全部物理学都植根于定律的观念，对于我们生活在一个有秩序的世界的信心，是可以通过理性的推理来理解的。但当我们直接观察自然界的时候，我们并不能显而易见地看到那些物理学定律。它们是隐藏起来的，是在我们研究的现象当中隐藏着的一些微妙的密码。

在费曼的第一次演讲里，讨论的最广为人知的定律是牛顿的引力定律。大多数其他的定律关系到描写物质粒子怎样相互作用的各种力的本性。但是这些力当中有少数是很特别的，而费曼自己具有这样的显赫声望，跻身于历史上发现一种新的物理学定律的少数科学家的行列之中，他的贡献说明了一种弱核力如何影响某些亚原子粒子的行为。

高能粒子物理学以它魔术似的巨型加速器以及看起来无尽头的新发

现的亚原子粒子名单，支配了费曼这一代物理学家。费曼的研究领域主要在这一方面。在粒子物理学家中的一个伟大的统一主题，就是对称性和守恒定律是怎么样支配着亚原子动物园的秩序的。康奈尔讲座中的大部分内容都关系到在亚原子领域里，这些抽象的对称性和守恒律的状况。虽然自从20世纪60年代以来粒子物理学已经有了突飞猛进的发展，这些讲座仍然是有基本意义的。

同费曼对于对称性的兴趣正好相反的是有一次关于不对称性的讲座，即所谓时间箭头的问题。费曼对于这一课题的迷恋从他做博士论文的时候就开始了，那是在第二次世界大战期间的动荡年月里由惠勒指导的。原来的问题关系到试图构筑一种电动力学的理论，其中过去和将来对称地进入理论中。那是费曼第一次遭遇电动力学，后来由此绽放了他获得诺贝尔奖的QED工作的花朵。但是，时间箭头问题基本上仍然没有解决，继续困扰着理论物理学家的头脑。费曼复述了这一问题，他对这一问题的本性所做的精巧揭示，仍然是对这一迷人的课题的一种经典的论述。

从任何标准看来，这本书里所讨论的各个观念都必定是有深刻的哲学意义的。尽管费曼总是对哲学家们抱着怀疑的态度。我有一次有机会逮住他讨论了数学的本性和物理学定律，以及抽象的数学定律是否可以看作是享有一种独立的柏拉图式的存在这样的问题。他对为什么看来确实如此的原因，给出了一种生动和巧妙的描述，但当我迫使他站在某种特定的哲学立场的时候，他就很快退缩了。当我试图从他口中引出还原论的议题的时候，他亦同样地警觉起来。总而言之，事后我相信费曼并不轻视哲学问题。但是，正如他能够不用系统的数学工具去做精细的数学物理问题一样，他也能够产生某些精细的哲学见解而不需要系统的哲学学说。他所讨厌的是形式而不是内容。

看来这个世界将来不大可能看到有另一位费曼。他正是他那个时代

的一个人物。费曼的风格对于巩固完善一次科学革命和开发它的种种结果这一过程中的一个主题来说是成功的。战后的物理学安全地站在它的基础上面，它的理论结构是成熟的，虽然仍然有广阔的天地可供随意开发。费曼的风格启发了整整一代科学家。这本书仍然是我所知道的，关于他的令人愉悦的看法的最佳记录。

第1章
引力定律——物理定律的一个例子

奇怪的是，每当我偶尔被请去一处正式场合演奏邦戈鼓的时候，主持人好像从来也不觉得有必要提到我还会做理论物理。我相信，这也许是由于我们尊重艺术甚于尊重科学的缘故吧。文艺复兴时期的艺术家们说，人们主要关心的应该是人文方面的东西，而世界上还有各种各样有趣的东西。即使是艺术家也会欣赏日落和海浪，以及群星划过天空的运行。那么，我们也有理由不时谈论其他的事物。当我们注视这些事物的时候，我们从对它们的观察直接感受到美学上的愉悦。在自然界的各种现象之间，也存在着肉眼看不到的，而只能用分析的眼光看到的节奏和样式，我们正是把这些节奏和样式称为物理定律。我在这一系列讲座里讨论的就是这些物理定律的一般本性；如果你明白了，就达到了另一个层次，一个比那些定律本身更高的层次。我确实把自然界当作通过缜密分析而得到的一种结果，但我在这里主要想讲的只是自然界最普遍的、笼统的性质。

噢，这样的一个话题会倾向于变得太哲学化了，因为它变得那么普遍，当一个人谈到这样一些普遍性的东西的时候，每一个人都能够听懂。他讲的这个话题就会被认为是具有某种深刻的哲学意义了。而我更喜欢具体一些，并且我喜欢以一种纯正的而不是含糊的方式来理解。因而在我的这第一次演讲里，我尝试给出物理定律的一个例子，而不是仅仅谈论普遍性，使得你们至少了解我在普遍描述的事物的一个例子。接下来我将反复地运用这个例子作为例证，这样做有助于得出一种实在的认识，不然的话就会变得太抽象了。我选择了引力理论，引力现象的物理定律作为我的具体例子。我不知道为什么我会选择引力。事实上它是

最先发现的那些伟大定律当中的一个，而它也有一段有趣的历史。你会说，“是的，不过那是一个古老的话题了，而我想听听关于一门现代科学的东西。”更新近的东西，也许不一定是更现代的。现代科学是精确地按照引力定律发现的同一传统建立起来的。而我们会谈到的只是一些新近的发现。我一点也不觉得同你们讲引力定律有什么不好，因为在讲到它的历史和方法以及它被发现的特征和它的性质的时候，我是完全按照现代的方式来讲的。

引力定律被称为“人类头脑所能达到的最伟大的推广”，而你们已经从我的介绍里猜想到，比起能够遵从像这条引力定律那样优美而简单的定律的奇妙的自然界来说，我对人类头脑并不是那么感兴趣的。因此，我们主要集中讨论的不是我们有多么聪明去发现它，而是自然界有多么聪明去设置这样一条定律。

引力定律，或者万有引力定律，说的是两个物体彼此施加一种力，其大小同两个物体间的距离的平方成反比，并且同两者质量的乘积成正比。我们可以运用数学把这条伟大的定律用以下的公式写出来：

$$F=G\frac{mm'}{r^2}$$

这道公式的意思是：力的大小等于某一常数乘上两者质量的乘积，除以距离的平方。好了，如果我再指出说，一个物体以产生加速度的方式来对一个力做出反应；或者说同它的质量成反比地每秒改变它的速度；或者说如果它的质量越小，则其速度变化越大，即与质量成反比；那么我就已经说出了关于引力定律所需要讲的一切了。现在我知道你们

不都是数学家，你们不能立即看出来从这两句说明会得到的所有结果，因此我在这里要做的是简要地告诉你们发现这一定律的故事，它有一些什么样的结果，这一发现给了科学的历史以什么样的影响，在这样的一条定律的背后留下了什么样的一类奥秘，这涉及爱因斯坦后来所做的一些改进以及可能还有它同物理学里其他定律的关系。

这件事的历史，简单说来是这样的。古人早就发现了各个行星看来是在天空中运行的，并且下结论说各个行星包括地球都是环绕着太阳运行的[5]。这种早期做出的贡献在被人们长久遗忘之后，又由哥白尼独立发现。那么，要研究的下一个问题就是：它们是以怎么样的精确形式环绕太阳运行的？就是说，它们做的是怎样的一种精确的运动？它们是以太阳为圆心而运动的，还是沿着别种曲线运行的呢？它们运动得有多快？如此等等。经过了漫长的日子才做出这样的发现。在哥白尼之后的岁月，是对于行星事实上是同地球一起环绕太阳运行，还是地球处于宇宙的中心等问题展开激烈争论的年代。后来有一个名叫第谷·布拉赫的人[6]发展了一种方法来回答这个问题。他想到一个可能很好的主意：非常非常仔细地观察，把天空中出现的各个行星的位置精确地记录下来，然后就可以根据这些资料，把各种不同的理论一一区分开来了。这正是跨入现代科学的钥匙，它正是对自然界理解的真正开始——这就是观察事物、详尽记录，并且希望如此得到的资料会成为检验这样或那样的理论解释的线索的概念。于是，第谷这位在哥本哈根附近拥有一座岛屿的富有地主，在他的岛上装设了一些指向特定方位的巨大的环状黄铜器械，并且夜复一夜地记录各个行星的位置。只有通过这样艰苦的工作，我们才能够发现并得到什么东西。

当收集好了所有这些资料之后，第谷把它们传到了开普勒手上，后者就尝试据此分析各个行星环绕着太阳做的是什么样的运动。而他用尝试和纠错的方法来做这件事。他一度认为他已经找到了规律；他设想各个行星都沿着一些圆形轨道环绕太阳运行，而太阳则不在圆心上。那时

候开普勒审视着一颗行星的资料，我想那是火星，发现它的位置偏离了8弧分[7]，而他断定第谷·布拉赫的观察不可能有这么大的误差，因而他原来的想法不是正确的答案。就这样，由于实验的精确度，使他能够前进到下一次尝试，并且终于发现了三件事。

第一，他发现了各个行星沿着椭圆轨道绕太阳运行，而太阳则处于这些椭圆的一个焦点上。所有艺术家都晓得椭圆这种曲线，因为它是一个按照透视法压扁了的圆。孩子们也知道椭圆，因为有人告诉他们说，如果你在一段线绳上套上一个小环，把线绳的两端分别固定好，然后把一支铅笔穿进小环里，把线绳绷紧滑动，就可以画出一个椭圆（图1）。

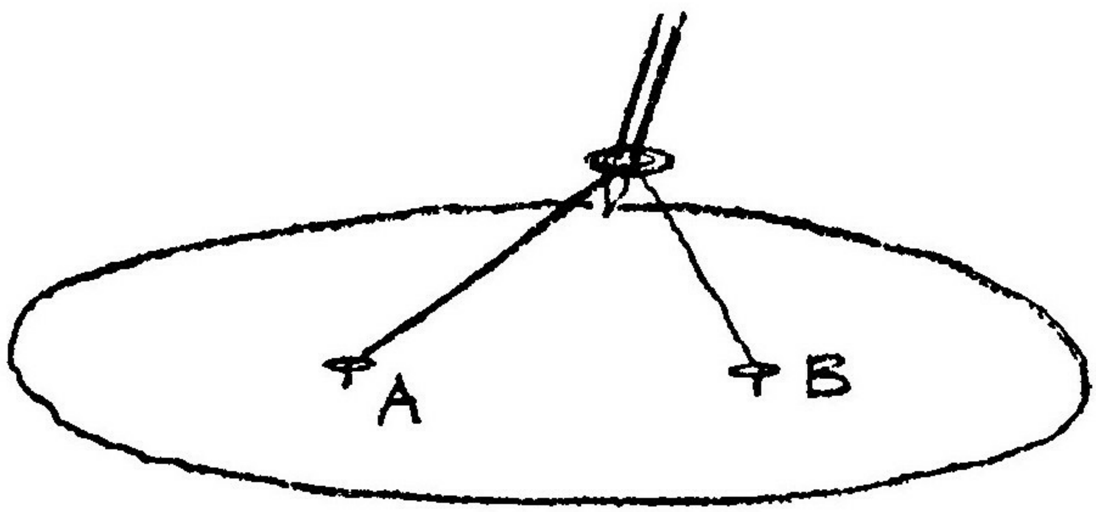


图1

这样的两个固定点A和B就是椭圆的两个焦点。一颗行星环绕太阳的轨道，就是一个以太阳为一个焦点的椭圆。下一个问题是：在沿着椭圆运行的时候，行星是怎样行进的？当它靠近太阳的时候，它会走得快一些吗？当它远离太阳的时候，它会走得慢一些吗？开普勒也找到了这些问题的答案（图2）。

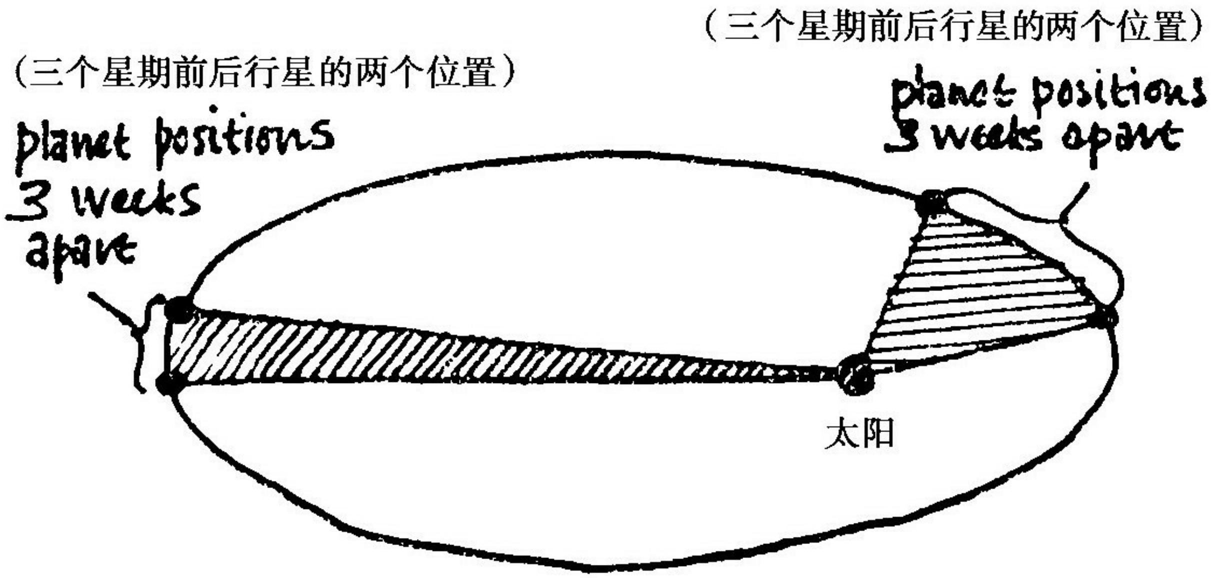


图2

他发现，如果你隔开某一给定的时间间隔，比方说隔开三个星期，先后记下一颗行星的两个位置；然后再在这颗行星轨道的另一处，隔开同样的三个星期，先后记下它的两个位置。分别画出从太阳到行星的几个位置的连线（这种连线的专门名词叫作“矢径”），你会看到，不论在行星轨道的什么地方，被行星轨道和通过隔开三个星期前后行星位置所画的两条连线所包围的面积是相同的。因而，为了精确地扫过相同的面积，行星在靠近太阳时必定要走得快些，在离开太阳较远时必定要走得慢些。

几年之后，开普勒发现了第三条规则，这条规则不是仅仅涉及单个行星环绕太阳的运动，而是关系到不同行星轨道运动的联系。它说的是，行星环绕太阳1周的时间，是同它轨道的大小相关的，并且各个行星环绕太阳1周的时间之比，等于其轨道大小的立方的平方根之比；这里说的轨道大小，指的是横跨轨道椭圆的最长一条直径。这样，开普勒就有了三条定律，总括起来可以说成是：行星的轨道形成一个椭圆；在相等时间内扫过相等的面积；以及行星环绕太阳一周的时间正比于轨道

大小的二分之三次方，即为轨道大小的立方的平方根。开普勒的这三条定律给出了各个行星环绕太阳的运动的完整描述。

下一个问题是：是什么使得各个行星环绕太阳运行？在开普勒那个时代，有些人回答这个问题说，有一些天使躲在各个行星的背后，拍打着他们的翅膀，就这样推动着那些行星沿着轨道运行。你们将会看到，这个答案同真实情况差得不太远。唯一的差别只在于那些天使处在一个不同的方向上，而且他们的翅膀是向内侧扇动的。

与此同时，伽利略正在研究着手头的普通物体在地面上的运动规律。在研究这些定律的过程中，他还做了观察诸如球体是如何沿着斜面下滑，以及单摆是如何往复摆动等的实验。伽利略发现了一条叫作惯性原理的伟大原理，它说的是：如果一个没有受到外来影响的物体以某一确定的速度沿着一条直线前进，它就将永远以同一速度沿着同一直线行进。对于曾经尝试使一个球体永远滚动下去的任何人，听到这句话都会不相信；但是，如果满足了上述理想化条件的话，如果不存在诸如与地板的摩擦等外来影响的话，球体确实会以一种均匀的速度永远行进下去。

下一步是由牛顿迈出的，他讨论了这样的问题："当物体不沿直线前进的时候发生了什么事？"他的回答是这样的：需要有一种力来以不同的方式改变物体的速度。例如，如果你沿着一个球体运动的方向推它的话，它就会加速。如果你发现它的运动方向改变了的话，它一定受到了侧向的力。力是以其两种效应的乘积来量度的。在一段短小的时间间隔里它的速度改变了多少，那叫作加速度；加速度乘上一个物体的叫作质量的系数，即它的惯性系数，其乘积就等于力。我们可以对此进行测量。例如，如果一个人把一块石子绑在一根绳子的末端，并且把它在头顶上甩开转起来，这个人就会感觉到要拉住绳子。这里的原因是，虽然石块沿着圆周运动的速率没有变化，但它的方向时刻在改变；必定要有

一个持续向里面拉住它的力，而这个力是与其质量成正比的。因此，假如我们取来两个不同的物体，先甩起第一个在头顶上转圈，再甩起第二个以相同的速率转圈，我们测量在第二种情况下的力，就会发现第二次的力的大小同第一次相比，等于两个物体质量之比。这是通过改变物体速率所需要的力来测量其质量的一种方法。牛顿从这里看到了，举一个简单的例子，如果一颗行星沿着圆形轨道绕太阳运行，不需要任何力使它沿侧向即切线方向行进，假如完全不受力，它就会只靠惯性一直向前行进。但事实上行星并没有一直向前进，稍过一会儿它发现自己不能够按照假若完全没有受力时的路径前进，而是要倾向于朝太阳坠落（图3）。换句话说，行星的速度，它的运动轨道，已经朝向太阳偏折。因而，天使们要做的事，只是时时刻刻朝向太阳拍打他们的翅膀。

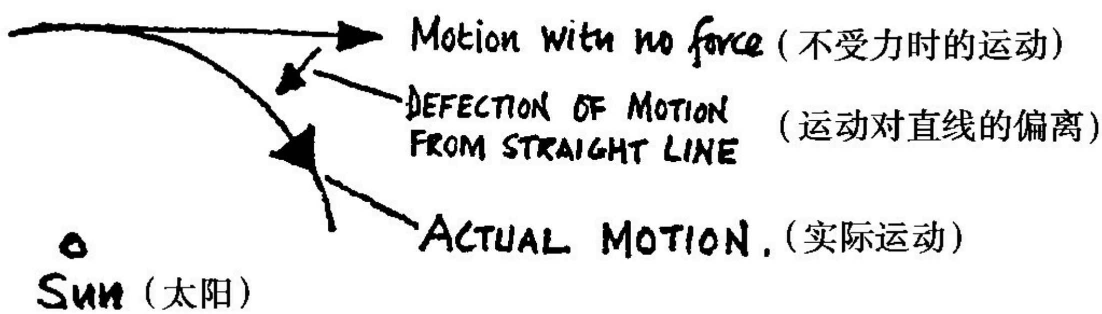


图3

然而，我们不知道有什么理由，使得行星要保持沿着直线的运动。为什么物体永远要凭惯性向前进？我们从来没有为此找到过什么理由。惯性定律没有什么已知的起源。虽然天使们是不存在的，而行星的运动仍然持续不停，但为了得到朝向太阳的下落效果，我们确实需要一种力。现在变得清楚了，力的起源就是朝向太阳。事实上，牛顿能够说明，矢径在相等的时间里扫过相等的面积这一规律，乃是速度的所有变化都是精确地指向太阳这一简单观念的直接结果，即使在椭圆轨道的情况下也是如此。在下一章里，我将会向你们详细说明这是怎么回事。

牛顿从这条定律确认了力是朝向太阳这一观念，并且从不同行星的运行周期是怎样随着它们到太阳的距离而变化的规律，就有可能确定力以什么样的形式随距离而减弱。他能够确定，力必定同距离的平方成反比。

到这里为止，牛顿还没有说出什么自己的话，因为他只是陈述了开普勒用不同的语言讲过了的两件事。其中之一完全等价于力是朝向太阳的陈述，另一件事则完全等价于力与距离的平方成反比。

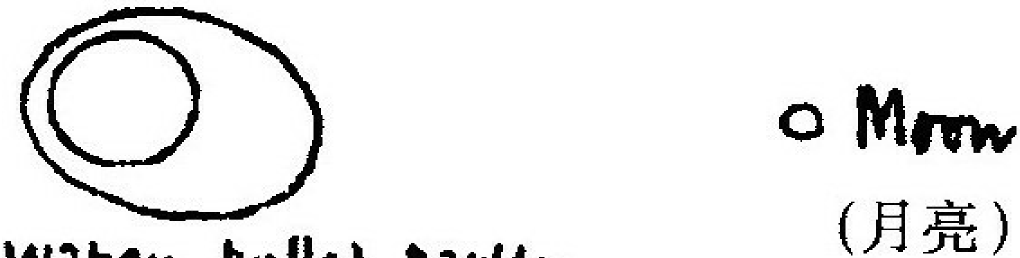
然而，人们已经用望远镜看到了木星周围有几颗卫星环绕着木星运行，看起来就像一个小型的太阳系，好比那些卫星被木星吸引着一样。月球被地球吸引过去，环绕地球运行，也是以同一方式被吸引的。看起来好像每一个物体都被每一个别的物体所吸引，因而下一个陈述就是把这一想法推广，说每一个物体都吸引每一个其他物体。如果是那样的话，地球必定拉住月球，就像太阳拉住地球一样。然而，人们已经知道地球正在拉住各种各样的物体——因为你们现在都紧贴在椅子上坐着，尽管你很想能够自由自在地在空中飘浮。地面上的物体被拉住这件事，已经作为重力现象而众所周知了，而牛顿的想法则是，也许使月球保持在轨道上的引力与使物体拉向地面的重力是一回事。

容易算出月球在一秒的时间里朝向地球落下多远，因为你知道了它的轨道的大小，知道了月球用一个月的时间环绕地球一周；如果你算出了月球在一秒的时间里走多远，你就能算出月球的圆形轨道在一秒的时间里，比起如果它不是走它确实走过的圆周而走的是直线时要落下多少。这一距离是二十分之一英寸（1英寸=2.54厘米，全书同）。月球离开地球中心的距离，是在地面上的我们离开地球中心的距离的六十倍；我们到地心的距离是4000英里（1英里=1.069千米，全书同），因而月球到地心的距离是240000英里。因此，如果反平方定律是对的话，地面上的一个物体应当在一秒的时间里下落（1/20）英寸×3600（即60的平

方）[8]，因为按照反平方定律，从地面到月球，引力减弱到（60×60）分之一。（1/20）英寸×3600大约是16英尺（1英尺=0.3048米，全书同），而从伽利略的测量已经知道，在地面上的物体在头一秒内落下16英尺。因而，这意味着牛顿的路子走对了，现在已经往前进了，因为已经将月球的轨道运行周期和它同地球的距离这一新的事实，同在地球表面上一个物体在一秒内落下多远这一先前毫无关联的事实联系起来了。这是一场戏剧性的检验，而一切都很顺利。

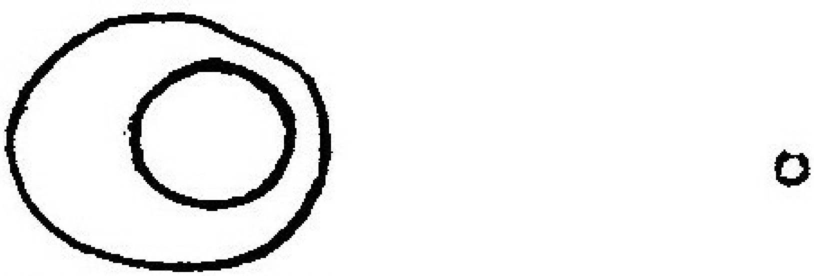
牛顿再往前进，又做出了许多其他预言。他能够计算出，如果力满足反平方定律的话，轨道的形状应当是什么样子；并且他发现了那的确是一个椭圆——他就这样做出了他的推广。此外，几种新现象有了清楚的解释。其中之一是潮汐现象。潮汐是由于月球对地球和它表面的水体的吸引而产生的。在从前对潮汐的有些考虑遇到了困难，如果那是由于月球对于海水的吸引使得在正对着月球的部位海水要比周围高出来的话，那么应该是每天只在正对着月球的部位有一次海潮（图4），但实际上我们知道差不多每12小时有一次潮汐，也就是一天两次。还有另一派别的想法，导致另一种结论。他们的理论是说，受月球吸引的是地球，使得它离开水体，这样就会在背向月球的那一面形成涨潮。牛顿实际上是第一个认识到在潮汐现象中发生了什么事的人；他认识到，在同一距离上，月球吸引地球和吸引海水的力是一样的，但同刚性的地球比起来，处在y处的海水比较接近月球，而在x处的海水则比较远离月球。于是，比起地球来说，在y处的海水受到朝向月球的较强的吸引，而在x处的海水则受到朝向月球的较弱的吸引，因而这两种图像的结合就产生了一天两次的潮汐。实际上地球也玩着同月球一样的把戏，它也环绕着一个圆周运行。月球作用于地球的力被平衡了，但是被什么东西平衡了？那是由于正如月球沿着圆周运行来平衡所受到地球的力一样，地球也沿着一个小的圆周在运行。这个小圆的圆心处在地球内部的某处。地球亦沿着这个圆周运行来平衡所受到的月球的力。地球和月球都环绕着一个共同的中心运行，使得地球所受到的力得以平衡；但在x处的海水

受到月球的吸引较弱，而在y处的海水受到月球的吸引较强，就使得海水在两侧都鼓涨起来了。这样就说明了潮汐发生的次数，事实上是一天里面有两次。一大批其他的事情也变得清楚了：地球怎么会是圆的，那是因为什么东西都被强拉进去；地球又怎么会不那么圆呢，那是因为它在自转，在外侧的部位就被甩出去一点了，而它则达到了平衡；太阳和月球怎么会是圆的呢，如此等等。



water pulled partly away from earth by moon

(水体被月球吸引而部分地离开地球)



earth pulled partly away from waters by moon

(地球被月球吸引而部分地离开水体)



actual situation

(实际情况)

图4

在科学的发展和测量做得更精确的进程中，对牛顿定律的检验变得越来越严厉，最早的一些精细检验，包括有对木星的几个卫星的观察。通过对这些卫星运行的长时间的精确观察，我们就能够检查根据牛顿的原理所做出的种种结论而发现情况并非如此。木星的几个卫星看起来有时候比根据牛顿定律计算出来的时刻早到8分钟，有时候则迟到8分钟。并且还注意到了这些卫星比预期时刻要早到的情况，都发生在木星正朝向地球接近的进程中，而卫星比预期时刻要迟到的情况，都是木星正在远离地球之中，一种相当古怪的巧合。罗默先生[9]坚信万有引力定律，他得到一个有趣的结论：光从木星的卫星传到地球是需要一段时间的。当我们看到这些卫星的时候，看到的不是它们当时所处的位置，而是它们在光传到地球上的这一段时间之前所在的位置。当木星向我们接近的时候，它发出的光传到我们这里的时间就要短一些，当木星正在离开我们的时候，光传到我们这里的时间就要长一些，因而罗默必须依据它们或者早到或者迟到的事实来校正那些不同时间差的观察数据。他用这种方法就能够测定光的速度。这是光并不是一种即时传播的物质的第一个证据。

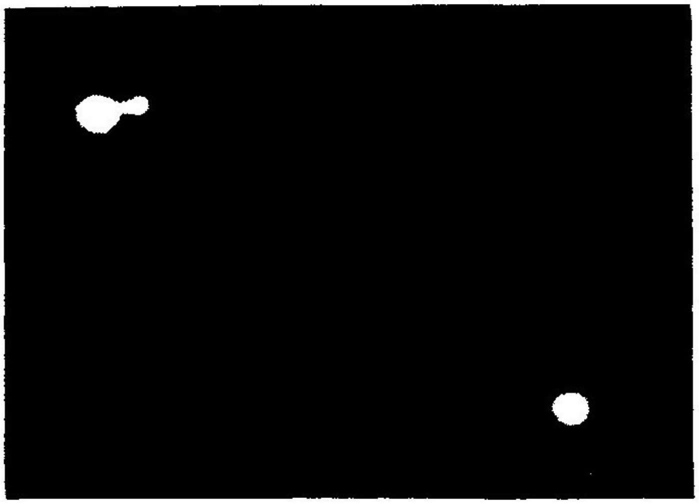
我向你们讲到这一特别的事例，是因为它说明了当一条定律是正确的时候，它就能够被用来发现另一条定律。如果我们坚信一条定律，那么如若出现了一些看来是错误的东西的时候，正是向我们提示了另一种现象的存在。如果我们不知道有什么引力定律，那么我们本来会经过比较长的时间才能够发现光的速度，因为那样我们就不会知道从木星的卫星能够看出什么来。这一过程已经带来一场雪崩式的发现，每一种新的发现都提供了做出更多的发现的手段，而这正是直到如今的400年内这一场大雪崩的连续过程的开端，而我们至今仍然以高速继续着这场雪崩。

另一个问题接着出现了——各个行星不应当真正沿着椭圆轨道运行，因为根据牛顿定律，它们不仅受到太阳的吸引，而且也受到其他每一颗行星的一份微弱的拉动，那仅仅是一点点吸引，但那一点点也是起作用的，会使得行星的运行发生一点点变化。那时候已经知道有木星、土星和天王星这几颗大行星，能够计算出由于受到其他每一个行星的拉动而使它们的运行轨道比开普勒的理想椭圆行星轨道有多么微小的不同。在做完了一切计算和观察之后，看出来木星和土星的运行是符合计算结果的，但天王星的运行则有点不对头了。这是从牛顿定律发现未知的东西的又一次机会：但要鼓足勇气！有两个人，亚当斯和勒维尔[10]在差不多完全相同的时间里，分别独立地进行了这些计算，并且提出天王星运行的不规则性是由于受到了一颗尚未看见的行星的影响。于是他们写信给他们各自熟知的天文台说："把你们的望远镜转过来，往那里看，你们就会发现一颗新的行星。"其中一座天文台回答说："真好笑，有个家伙坐在那里摆弄着铅笔和纸张，就以为他能够告诉我们在什么地方可以找到某个新的行星了。"而另一座天文台则做了不同的处理，他们就因此而发现了海王星！

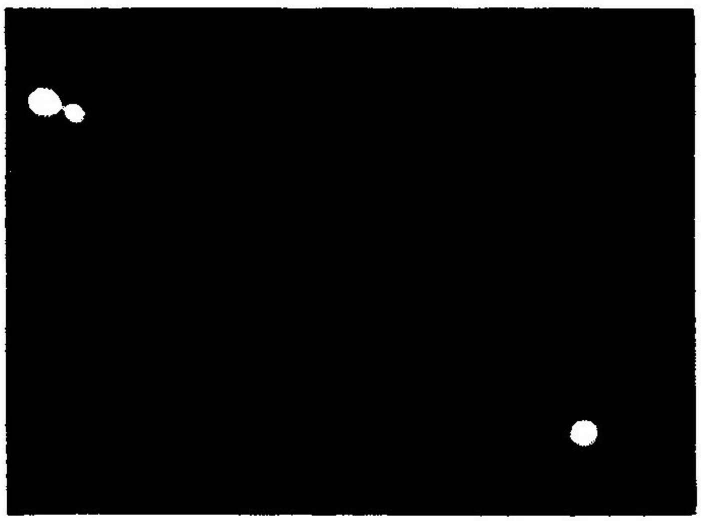
更近一些，在20世纪初期，又看出了水星的运行不是那么完全对的。这就引起了一大堆麻烦，一直未能得到解释，直到爱因斯坦证明，牛顿的诸定律有一点不对头，必须对它们进行修改。

这里的问题是，牛顿定律的有效范围可以延伸得多远？它适用于太阳系之外吗？在图版1里我显示了万有引力定律适用于超出太阳系的更大尺度的证据。这里是一对叫作双星的一系列三幅照片。在照片上幸好有第三颗恒星，使得你可以看出那对双星真的是在旋转，而不是在天文观测照片上常常会发生的那样，仅仅是把照片的框子转过一个角度。这两颗恒星确实在绕着圈子运行，你可以在图5上看到它们形成的轨道。很明显，它们是在互相吸引，并且按照预期的方式，在一个椭圆轨道上运行。图上表示的是其沿着时针方向运行的不同时刻的各个接连的位

置。如果还没有注意到其中一个细节的话，你看到这幅图会很高兴；但如果你注意到了，会发现轨道的中心并不处在椭圆的一个焦点之上，而是还有点偏离。是不是那些定律有麻烦了？不，上帝没有把这一轨道的正面摆给我们看；它倾斜了一个古怪的角度。如果你在一张纸上画好一个椭圆并且标出它的焦点，然后拿起这张纸，从一个特别的角度去看它的投影，你会发现原来那个焦点并不必位于投影图像的焦点处。这是因为轨道在空间中被倾斜了，使得它看起来是那个样子。



1908 年 7 月 21 日



1915 年 9 月



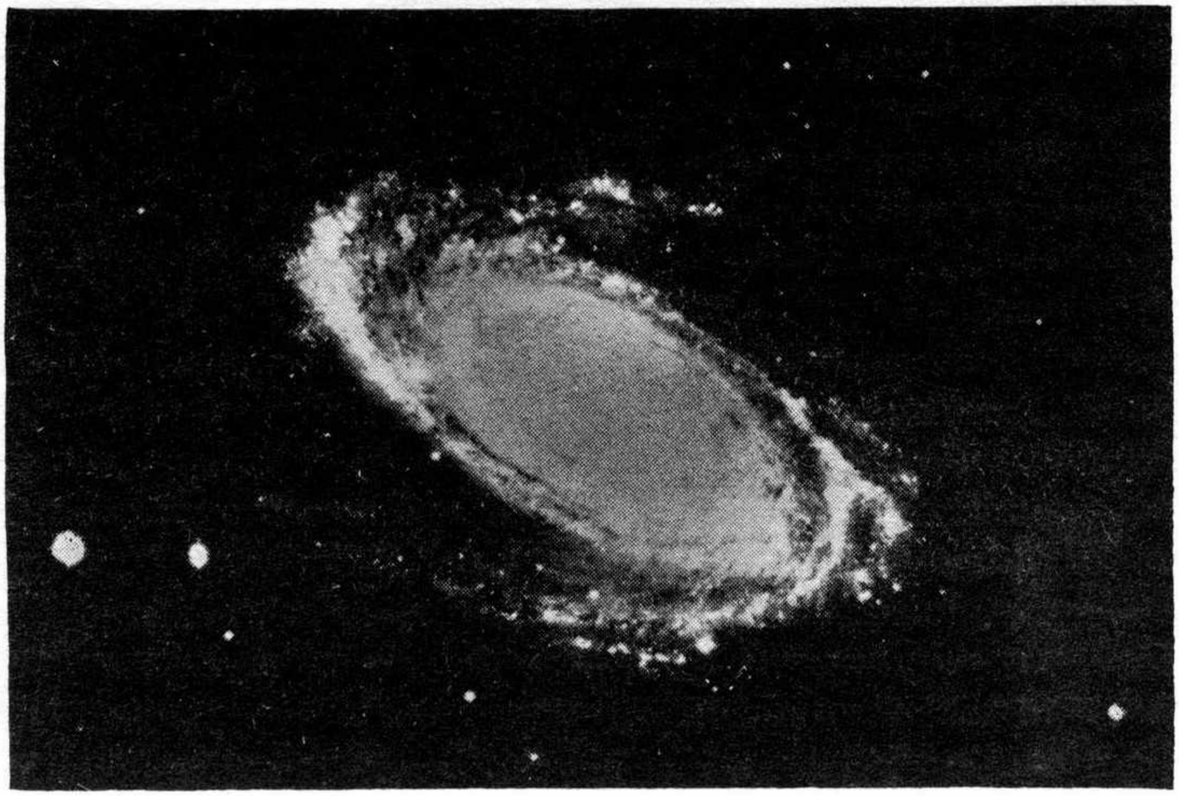
1920 年 7 月 10 日

图版1　在不同的时间对同一个双星系统拍摄的3张照片

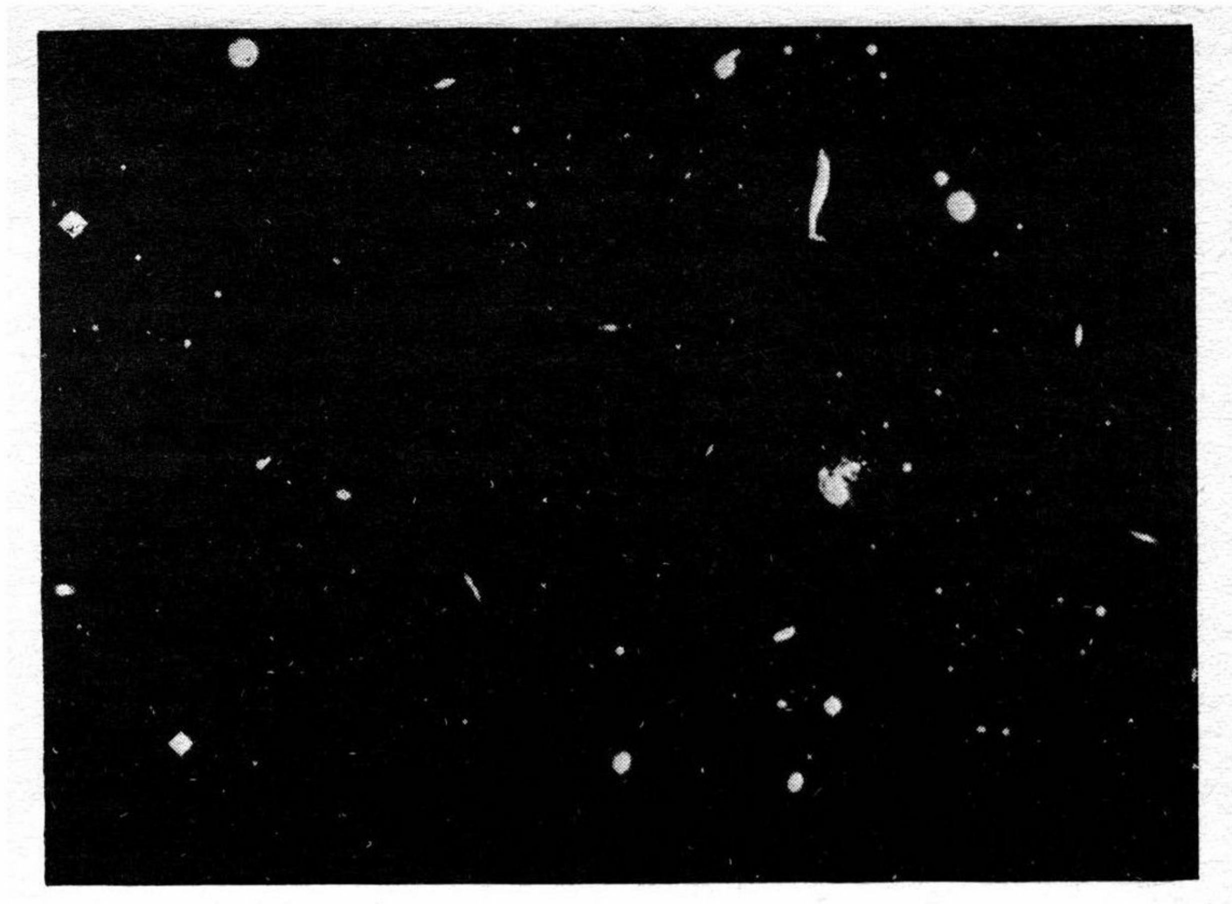
距离再远会怎么样？这是两颗恒星之间的力；它还能够适用于比两三倍太阳系直径远得多的距离吗？在图版2上显示的是由许多恒星聚集而成的一个球状星团，它的直径是太阳系的100000倍。那个大白斑不是一个实心的白斑，它看起来那样是因为仪器的分辨率不够的缘故，实际上应当有许多像其他恒星一样的非常非常细小的斑点，彼此分得很开，互相并不碰击，每一颗恒星都在这个巨大的球状星系里做贯穿式的或者往复式的运动。它是在天空中最美丽的东西之一；它同海浪和日落一样美丽。物质的这种分布是完全清楚的。把这种星系维系在一起的东西，就是各个恒星互相之间的引力吸引。其中物质的分布和距离的观念，使我们得以粗略地发现在这些恒星之间起作用的力的定律……并且，得出的结果当然是，这种力大概遵从平方反比定律。这些计算和测量的精确度无论如何也达不到像在太阳系里那么细致。



图版2　一个球状星团



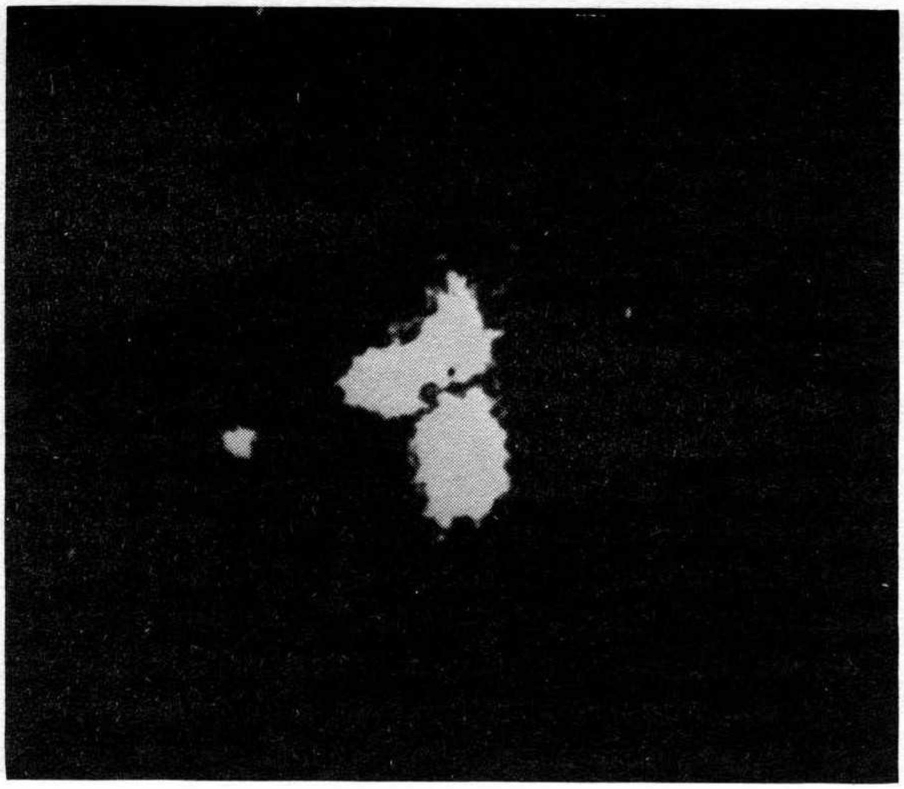
图版3　一个螺旋星系



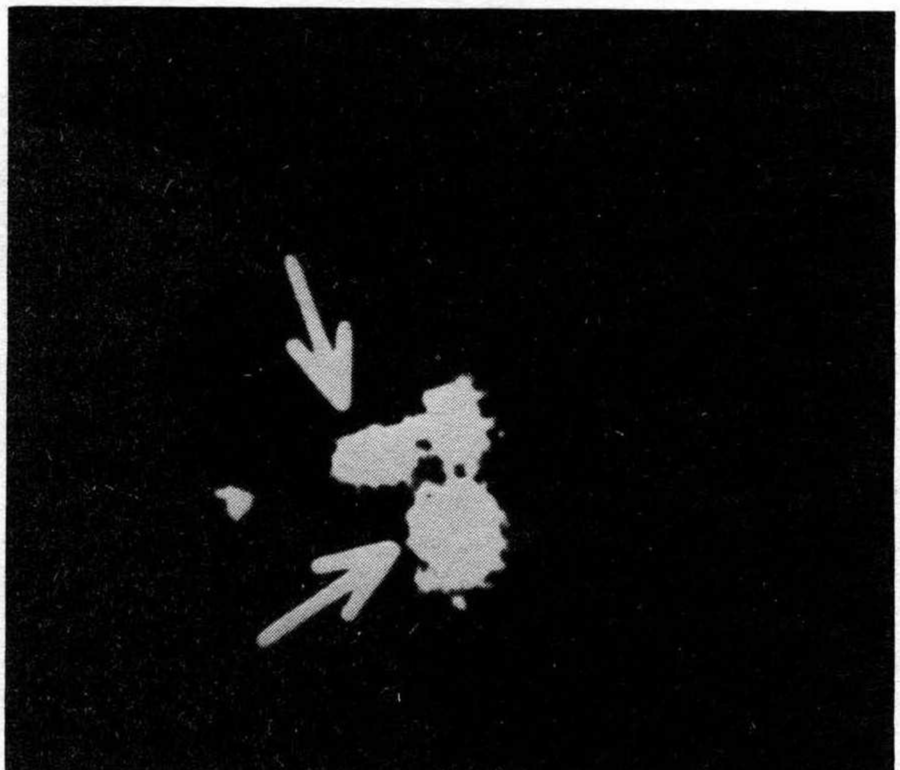
图版4　一个星系团



图版5　一个气体星云



1947年



1954年

图版6　新星创生的证据

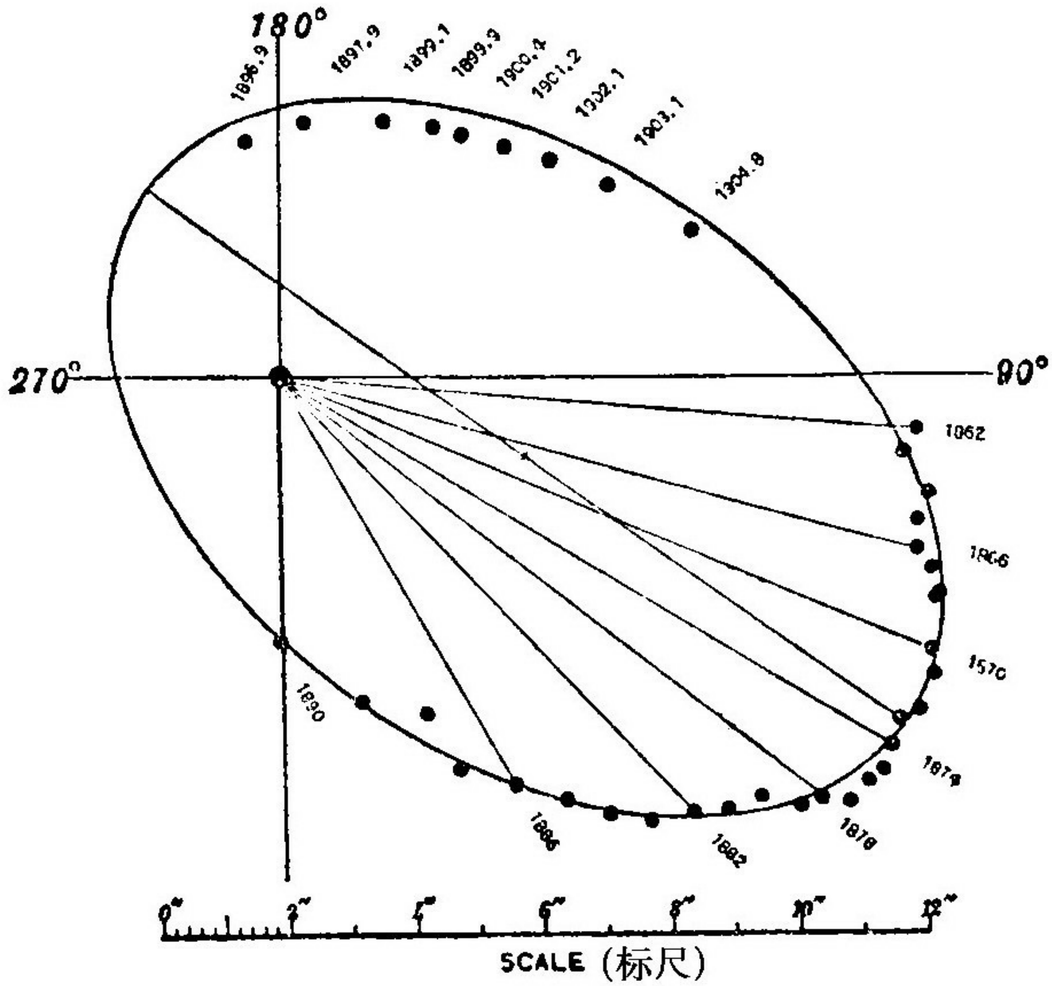


图5

再往前走，引力还可以延伸到更远。那个星团仅仅是在图版3里的那个大星系里的一个针尖似的小点。在这幅图版里显示出一个典型的星系，并且也很清楚的是，它是由某种力维系在一起的，而它的唯一合理的候选者就是引力。当达到这么大的尺度时，我们没有办法去检验那条平方反比定律，但看来没有疑问的是，在数目非常巨大的这一大堆恒星中间，引力是一直延伸到这样的距离上的。这些星系的空间跨度有50000～100000光年那么远，而从地球到太阳的距离则仅仅是8光秒。在图版4里，给出了引力延伸得更远的证据。这是叫作星系团的东西，它们全都结成一团，就像星团一样；但这一回结成团的各个成员不是个别

恒星而是在图版3里显示的那样的大宝贝。

到达这样的距离，大概是宇宙的十分之一，也许是百分之一的大小，这是我们拥有引力延伸得到的直接证据的最远距离。因而地球的引力是无边无际的，虽然你会在有些文章上读到说，存在着一些什么东西是超出了引力场范围的。当距离越来越远时，引力按照与距离的平方成反比地逐渐减弱，每一回你把力的强度除以四，你就达到两倍那么远的距离，直到它迷失在其他恒星的强大的引力场中。一颗恒星同它近邻的各个恒星一起，拉拢其他许多恒星以形成星系，然后它们团结在一起，再拉拢其他许多星系，形成了一种模式，即星系团——由星系组成的集团。因而地球的引力场永远也不会完结，但会按照一条精确而细致的定律逐渐消失，也许最终是在宇宙的边沿上。

引力定律与其他许多定律是不同的。它显然对于宇宙的经济收支和运转机制是十分重要的；只要涉及宇宙，引力就在许多地方具有它的实际应用。但是，显得不正常的是，比起物理学里其他一些定律来说，引力定律只有相当少的一些实际应用。这是我找到的一个不正常的例子。顺便说说，要找到任何一件东西，而它没有在某种意义上表现得不正常，那是做不到的。这就是世界的奇妙之处。我想得起来的引力定律知识的应用，只是在地球物理勘探、潮汐预报，以及近期更加现代化的，计算出我们送入轨道的人造卫星和行星探测器的运动等方面；最后，也是一种现代的应用，则是预测出各个行星位置，那些数据对于占星术士是非常有用的，他们要在有关刊物的星象图上发表他们的预言。我们生活在其中的世界真是一个奇怪的世界，在理解自然界上的种种新进展，只是用来延续那已经存在了2000年的胡言乱语。

我必须指出引力在宇宙的行为中真正起着某种效果的一些重要地方，而其中的一个有趣的效应就是新星的形成。图版5是在我们的银河系里的一个气体星云；它不是由许多颗恒星而只是由气体组成的。其中

那些黑色的斑点是气体被压缩即由于自相吸引而收缩的地方。这种过程或许是由某种冲击波开始的，但我们看得到的只是它遗留下来的现象，引力把气体收拾得越来越缩紧，使得原先横冲直撞的气体和尘埃聚集起来并形成球状；当它们继续朝中心坠落的时候，由于坠落产生的热点着了它们，就成为发亮的恒星。在图版6里我们给出了新的恒星诞生的一些证据。

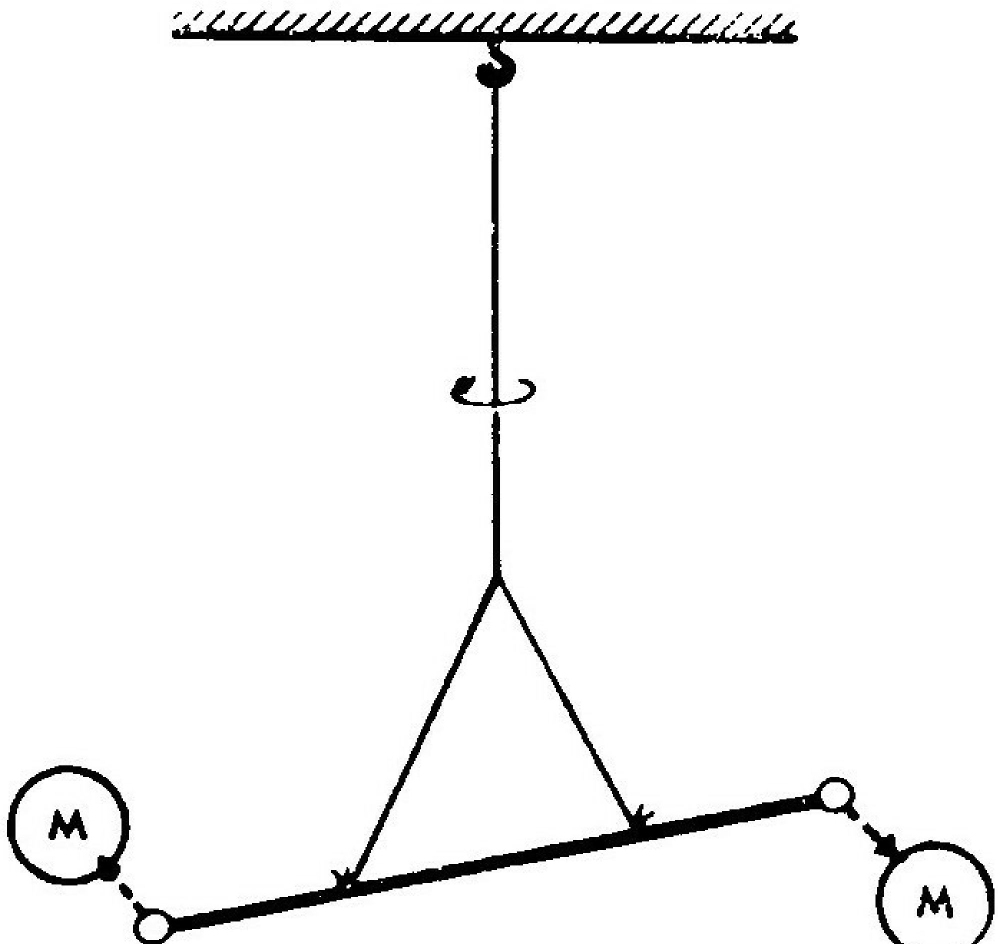


图6

这就是当气体由于引力而高度集中的时候，怎么样产生新星的过程。有时候当恒星发生爆炸，喷出尘埃和气体，而那些尘埃和气体又重新聚集在一起，形成新的恒星——听起来就像一种永无完结的循环过

程。

我已经讲到了引力延伸到很远的距离，但牛顿说过，任何东西都吸引着别的任何东西。两个物体真的彼此在吸引吗？我们能不能做出一个直接的试验，而不是仅仅坐等看到各个行星互相吸引呢？卡文迪许[11]使用你在图6中看见的那种设备来做这样的直接试验。他的想法是用一根非常非常细的石英纤维，悬起两端各装了一个小球的一根横杆，然后把两个大的铅球放到小球旁边的位置上，如图所示。因为那些球体的吸引会使得纤维发生轻微的扭转，而在普通物体之间的引力确实是非常非常微弱的。卡文迪许说他的实验是“称量地球的重量”。今天受过了术语的精心教育，我们不会让我们的学生那么说了；我们应当说的是“称量地球的质量”。卡文迪许能够用一种直接的实验测量到力、两个物体的质量以及距离的大小，从而测定了引力常数G。你会说，“是的，但我们在这里遇到同样的情况。我们知道拉力有多大，而且我们知道被拉的物体的质量，并且我们知道我们离开得多么远，但是我们既不知道地球的质量，也不知道引力常数，只知道这几个因素联合起来的效应。”通过测量引力常数，并且知道受到地球拉住的事实，就能够测定地球的质量。

这一实验是对我们所处的球体有多重或者有多大质量的第一次间接的测量。发现这一点是一个惊人的成就，并且我想这就是卡文迪许把他的实验称为“称量地球的重量”，而不是“测定引力方程中的常数”的缘故。他还同时意想不到地称量了太阳以及任何别的东西，因为我们已经以同样的方式了解了太阳的拉力。

检验引力的另一种试验是十分有趣的，这就是拉力是否精确地同质量成正比的问题。如果拉力是精确地正比于质量的话，对于力的反应，即由力所引起的运动速度的改变则是反比于质量的。那就意味着，在引力场中两个不同质量的物体将会以同样的方式改变它们的速度，或者

说，在真空中两个不同的物体也将会以同样的方式下落到地面上。而与其质量的大小无关。都将以同样的方式下落到地面上，那就是伽利略在比萨斜塔上所做过的古老实验。举例说，它意味着，在一个人造卫星里面，一个处在内侧的物体环绕地球运行的轨道，就会与一个处在外侧的物体的轨道相同，于是看起来就飘浮在中间了。力精确地同质量成正比，以及对力的反应反比于质量这一事实，就会有这样非常有趣的结果。

它有多精确呢？一个叫作厄缶的人[12]在1909年做了一个实验来测定它的精度；而新近狄克[13]又做了精密得多的实验，测定其精度为一百亿分之一。引力是精确地同质量成正比的。怎么有可能达到这一精度的测量呢？假定你想要测量对太阳的拉力来说是不是这样。你知道太阳正在拉着我们大家，它也拉着地球，而假定你想要知道这种拉力是否精确地正比于惯性。首先使用檀香木来做实验；再用铅和铜，现在是用聚乙烯来做实验。地球环绕着太阳运行，因而地面上的各种物体都由于其惯性而被往外抛，并且它们被抛出的程度与两者的惯性成正比。但根据引力定律，它们又按照其质量的比例受到太阳的吸引，因而，假若它们被太阳吸引的程度不是同它们由于惯性而被抛出的程度成比例的话，其中一个物体就会被拉向太阳一点，另一个物体则被推开一点；于是，把这样的两个物体悬挂在另一台卡文迪许仪器的石英纤维上的横杆的两端上面，就会发生朝向太阳的扭转。它没有以这样的精确度发生扭转，因而我们知道太阳对两个物体的吸引是同离心效应即惯性精确地成比例的；因此，对一个物体的吸引力是精确地同它的惯性系数成比例的，换句话说，是同它的质量成比例的。

有一件事是特别有意思的。反平方定律再一次出现——例如在电学定律里。电学里也施行着与距离平方成反比的力，这一次是在电荷之间的力，并且人们设想，也许距离的反平方会有某种深刻的意义。从来没有人能够成功地把电力和引力做成是同一个东西的两个不同方面。我们

今天的物理学理论，物理学的定律，分成许多不同的分支和部门，它们并不能很好地协调一致。我们还没有那样的一个理论结构，从它能够推导出一切来；我们有的只是几个还不能够很好地完全协调一致的部门。那就是为什么在我的这些讲座中，我不能够告诉你们什么是物理学的定律，而只能谈论各种定律里共同的东西的原因；我们还不清楚那些定律之间有什么联系。但十分奇怪的是，有某些东西在两个不同部门里却是一样的。现在我们再来看看电学的定律。

电力反比于距离的平方而变化，但事情明显是不同的，那就是在电力和引力的强度上有极大的差别。要想从同一个理论推出电力和引力的人，会发现电力要比引力强很多很多，很难相信它们竟会有同样的来源。我怎么能够说一个东西比另一个东西强呢？这取决于你有多少电荷以及你有多少质量。你不能够光凭说“我取这么大的一块东西”来谈论引力有多强，因为那一块的大小是由你选择的。如果我们尝试获得自然界中产生的某种东西——她自己的一种不依赖于单位大小的纯数，完全不依赖于英寸或者年或者我们自己的尺寸——我们就能够以这种方式来讨论。如果我们取一种基本粒子，譬如电子——选择任何别的粒子会给出不同的数值，但为了给出一个概念我们还是选择电子——两个电子是两个基本粒子，它们由于带相同电荷而彼此按照距离的反平方相推斥，同时由于引力而彼此按照距离的反平方相吸引。

问题：引力对电力的比值等于多少？在图7里写出来了。吸引的引力对排斥的电力的比值给出了一个有42位尾巴的数字。好了，这里有一个非常深奥的谜团。这么大得不得了的一个数能够从哪里来呢？假若你真的有了一种理论，能够由此推出这些东西，它们怎么能够以这样一种不相称的形式出现呢？什么样的方程能够有这样的一个解，其中有两类吸引和排斥的力，其强度竟然有如此惊人的比例呢？

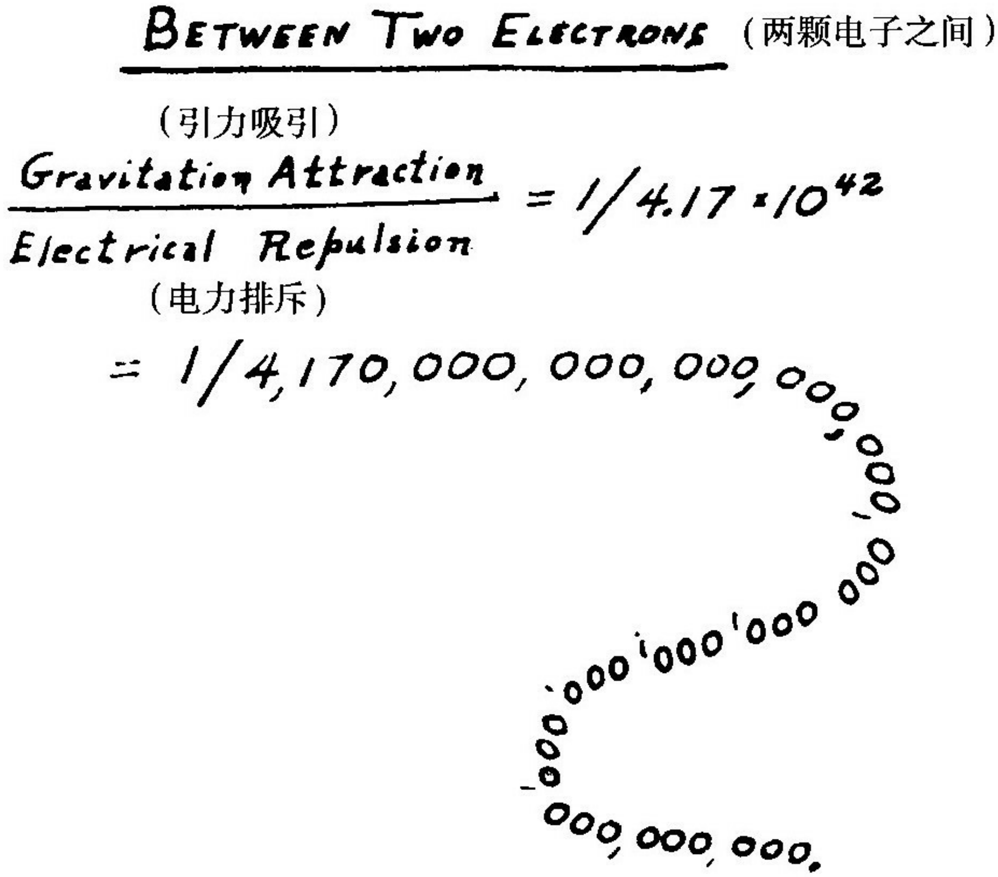


图7

人们在其他一些地方已经看到过这样大的比值。例如，他们希望看到另外一个大的数目，而且如果你想要一个大数的话，为什么不取宇宙的直径比上质子的直径呢——令人吃惊不已的是，这个比值也是一个具有42位尾巴的数。于是有人提出了一个有趣的建议说，电力对引力强度的比值与宇宙对质子直径的比值是相同的。但是宇宙是随时间而膨胀的呀，那么就意味着引力常数是随时间而变化的，虽然那是一种可能性，但还没有证据表明那就是事实。存在着几种不完全的迹象，表示引力常数并不按照那种方式变化。于是，这一惊人的数目还是个谜。

在结束引力理论的时候，我必须再讲两件事。第一件是爱因斯坦要根据他的一些相对性原理来修改引力定律。这些原理中第一条是说，距

离“x”不能够即时越过，而牛顿的理论则说力是即时传递的。于是，爱因斯坦就必须修改牛顿诸定律了。这些对定律的改动，有一些非常微小的效应。其中之一是说，所有质量都因为受到引力而下落，光具有能量而能量等价于质量。因而也具有质量的光也会在引力场中下落，这就意味着光通过太阳附近时会产生偏折，正是如此。此外，在爱因斯坦的理论里，引力也被稍微改动了，因而相应的定律也改动了那么一点点，改动的大小刚好能够得出在水星运行当中发现的微小偏差。

最后要讲的是，谈到在微小尺度上的物理定律，我们发现了在微小尺度上物质的行为所遵从的定律与在大尺度上的事物是全然不同的。因而就有了这样的问题，怎么样看在微小尺度上的引力？那叫作引力的量子理论（量子引力理论）。今天还没有引力的量子理论。在建立一个与不确定关系和量子力学基本原理相融洽的量子引力理论方面，人们还没有获得完全的成功。

你会对我说，“是的，你告诉了我们发生了一些什么事，但什么是引力呢？引力是从哪里来的呢？引力是什么？你告诉我的意思是不是说，一颗行星看着太阳，看它有多远，算出这段距离平方的倒数，然后决定依照那条定律来运行呢？”换句话说，虽然我陈述了那条数学定律，我还没有给出关于其中机制的任何提示。我将会在下一章“数学同物理学的关系”里讨论这样做的可能性。

在这次讲座里，我愿意在结束的时候强调，引力的某些本性与我们在讲演中提到的其他定律是共通的。首先，它是通过数学来表达的；其他定律也是以这种方式表达的。其次，它不是完全精确的；爱因斯坦要去改动它，而我们知道它还不是那么绝对正确的，因为我们仍然在建立它的量子理论。对我们所有的其他定律来说都是一样的——他们不是完全精确的。总是有一条神秘的边界，总是有一处我们仍然可以在那里瞎碰瞎闹的地方。这可能是也可能不是大自然的一种性质，但这一点肯定

是我们今天晓得的所有定律的共同之处。也许这只是因为我们无知的缘故吧。

但给我们印象最深的事实是，引力是简单的，能够简单地把其中的原理全部陈述出来，而不留下可以让任何人改变定律的观念的任何模糊之处。它是简单的，因而它是美的。它的简单是在它的模式上。我不是说它的简单是在它的作用上——各个不同行星的运动以及一个行星对另一个的摄动，可以十分复杂以至于算不出来，而追踪在一个球状星团里的所有那些恒星在怎么样运动，则是远在我们能力之外的。在它的作用方面它是复杂的，但支配着整个事情的基本模式或者理论体系则是简单的。这是我们的所有定律的共同之处；它们原本都是简单的东西，尽管它们的实际作用却是复杂的。

最后谈到引力的普遍性以及引力延伸到如此遥远距离的事实。牛顿在他的脑子里关心的是太阳系，却能够预言在卡文迪许的一个实验里会得到什么结果；而卡文迪许的那个太阳系的小小模型，那个两个小球相互吸引的模型则延伸到一千亿倍，变成了太阳系。再放大一千亿倍，我们再次得到一些彼此精确地按照同一定律相互吸引的许多星系。大自然只用了一些最长的丝线来编织她的花样，使得在她的织物上的每一片段都体现了整块锦缎的组织原则。

第2章
数学同物理学的关系

在考虑数学的应用和物理学的时候，我们很自然地想到在复杂的情况下涉及大的数目时，数学就会有用。例如，在生物学里，病毒对细菌的作用是非数学化的。如果你在一台显微镜下面观察它，一个左摇右晃的病毒在那奇形怪状的细菌（它们有各种各样的形状）上找到了一个切入点，可能把它的DNA注入进去，也可能不注进去。如果我们做了千千万万次关于病毒和细菌的实验，那么我们就能够通过取平均来得到关于病毒的大量知识。我们在取平均时可以运用数学，看看病毒是否在细菌体内生长发育，产生了什么新变异以及以多大的百分比发生了变异；然后我们就能够研究遗传学，研究各种突变等现象了。

再举一个更加平凡的例子，设想有一块很大的板子，用来做下跳棋的棋盘。任何单独一步棋的实际操作都不是数学化的，或者说它在数学上是非常简单的。但你能想得到，在一块那么大的棋盘上，摆上了许多棋子，只有进行深刻的推理，才会分析出哪些是最佳的几着、好的几着或者坏的几着棋，这种推理里又包含了有人事先准备并且深思熟虑的结果。于是这就变得数学化，包括抽象的推理了。另一个例子是计算机里面的开关电路。如果你只有一个开关，无论它是开或者是关，这里没有什么特别数学化的地方，虽然数学家们喜欢从这里出发来展开他们的数学。但如果有许多个开关再加上连线的互相连接，要想象出这样一个巨大的系统会怎样动作，就确实需要数学了。

在讨论复杂情况的各个细节的现象，找出游戏的基本规则时，我喜欢立即说数学在物理学中有极大的应用。但是如果我仅仅谈到数学同物

理学的关系的时候，我会把我的大部分时间用在谈论的东西。但由于这是关于物理定律的本性的一系列讲座的一部分，我不会有时间去讨论在复杂情况下发生了什么事，而是立即转到另一个话题，即那些基本定律的本性。

如果我们回到我们的跳棋比赛，其基本的定律是棋子走动的规则。数学可以应用到复杂的情况，想象出在给定的形势下，走哪一着棋是最好的。但对于那些基本定律的简单本性来说，只需要很少的数学。那些下棋的规则可以由棋友们用话语简单地说出来。

关于物理学的一件怪事是，我们仍然需要用数学来表达它的基本定律。我将会举出两个例子，在其中一个例子里我们的确不需要数学，而在另一个例子里则确实需要数学。第一，物理学里有一条定律叫作法拉第定律，它说的是在电解过程中淀积的材料的数量，正比于电流和通电的时间。那意味着淀积下来的材料的数量正比于通过系统的电荷。这听起来十分数学化，但实际发生的只是在导线里通过的电子，每一颗都携带着一份电荷。举一个特别的例子，可能每淀积一个原子需要一颗电子的传递，因而淀积的原子的数目就必定等于通过的电子的数目，从而正比于导线中流过的电荷。你们看，那条看起来像是用数学表达的定律，其实并没有什么高深的基础，并不需要什么真正的数学知识。我想，为了使每一个原子淀积下来需要有一个电子流过，这本身亦是数学，不过不是我正在这里谈论的那种数学。

第二个例子，拿牛顿的引力定律来说，我在上一次讲过了它的各个方面。我向你们给出过它的公式：

$$F = G\frac{mm'}{r^2}$$

只是使你们得到印象，看到运用一些数学符号能够多么快地传达信息。我说过力正比于两个物体质量的乘积，并且反比于它们之间距离的平方；而且物体对力的反应是改变它们的速度，即改变它们的运动，改变的快慢与力成正比且与它们的质量成反比。那些都是话语，对吧。我不一定要写出公式。但无论怎样它都是一种数学，而且我们总是为这怎么能够是一条基本定律而感到惊讶。行星在做些什么？它是不是注视着太阳，看看它离太阳有多远，然后在它内部的加法机械上计算出距离平方的倒数，这样来告诉它要怎么样运动呢？肯定不存在关于引力机制的解释！你会想看得更深入一些，而已经有些人试图看得更深入了。牛顿原先就受到过对他的理论的质问——“但它并不意味着什么——它没有告诉我们什么东西”，牛顿说，“它告诉你们它怎样运动。那就够了。我已经告诉你们它是怎样运动，而不是它为什么那样运动。”但是，人们常常因为找不到一种机制而感到不满意，而我则愿意在已经发明的种种理论当中，找一种你们会想要的那种类型的理论来讲解。这一理论提出引力效应是大数目的作用的结果，那就能够说明它为什么是数学化的。

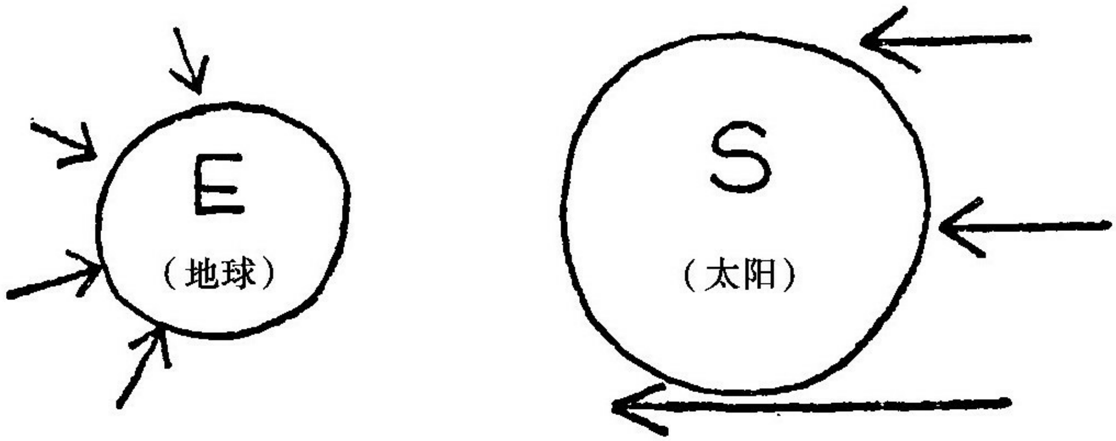


图8

假设世界上到处都存在着许许多多粒子，它们以极高的速率飞过我们身旁。它们均匀地从四面八方袭来，一般仅仅是在我们身边擦过，只是偶尔会击中我们的身体。我们和太阳对它们来说实际上都是透明的。我说的是实际上而不是完全的透明，因为有一些粒子是会撞击到我们或者太阳上面的。那么，看看会发生什么样的情况（图8）。

图中的S是太阳，E是地球。假如没有太阳在那里，粒子就会在各个方向上撞击地球，叮叮咚咚或者乒乒乓乓地击中的少数粒子，给地球以一些轻微的冲击。这不会令地球在任何特定的方向上摇摆，因为如果在一个方向上有这么多的粒子撞击，就会有同样多的粒子在相反的方向上撞击地球，例如地球顶部和底部受到的冲击是一样大的。然而，当有一个太阳在那里的时候，来自那个方向的粒子被太阳挡住了，因为那些击中太阳的粒子是不能够穿透太阳的。因而从太阳那边飞向地球的粒子由于遇到了太阳这个障碍，就会少于来自另一边的粒子的数目。容易看出，太阳离得越远，它所挡住的那部分粒子在从所有可能方向飞来的粒子中所占的比例就越小。太阳离得较远，看起来它就变小了——事实上是按照距离平方的反比而变小的。因此会有一种冲力作用到地球上，使它趋向太阳，这种冲力的大小是与距离的平方成反比的。而这种效应则

是由于许许多多简单的动作，只是从所有方向上一次又一次地撞击而导致的结果。因此，那难以理解的数学关系就被这样大大地简化了，因为这里的基本动作要比计算距离平方的倒数简单得多。在这个方案里，那些粒子的反弹就这样执行了所需要的计算。

这一方案只有一个毛病，那就是由于别的一些理由，它是行不通的。你建立的每一种理论都要对它的所有结果进行分析，看看它还做出了一些什么样的预言。而这一方案的确做出了别的一些预言。如果地球在运动着，在它前面就会比后面受到更多粒子的撞击。（如果你在雨中跑步，从前面打到你脸上的雨点要比从背面打到你脑后的雨点多，因为你是在跑入雨幕之中。）那么，如果地球是在运动着，它就迎头碰着在前面朝着它奔来的那些粒子，同时逃离着在后面追赶着它的那些粒子。因而从地球前面迎击它的粒子就要比从后面赶上的多，就会产生一种阻碍任何运动的力。这种力将会减缓地球在它的轨道上的运动，那样它就肯定不能够维持至少30亿到40亿年一直环绕着太阳的运行了。因此那种理论就垮台了。你会说，“好了，它是一个好理论，而我靠着它一时摆脱了神秘的数学。或许我能够发明出一种更好的理论。”你也许能行，但谁也不知道结局如何。但是，从牛顿那时候起直到今天，没有一个人能够为隐藏在这条定律后面的数学机制发明出另一种理论描述，而不仅仅是把同样一些东西重复一遍，或者把数学弄得更复杂，或者是预言出某些错误的现象。因此，今天除了引力定律的数学形式之外，没有什么试图解释引力机制的理论模型。

如果只有引力定律具有这样的本性，那就是一件颇为有趣的和令人不解的事。但每当我们研究得愈多，发现出愈多的定律，并且对自然界有愈深的了解，就愈明白这是真的。任何定律都免不了这样的毛病。我们的每一条定律都是一种纯粹的数学陈述，用的是相当复杂和深奥的数学。牛顿关于引力定律的陈述，只用到比较简单的数学。而当我们继续前进时，就要用到越来越深奥和越来越困难的数学。这是为什么？我一

点也想不出来。我的唯一目的，就是在这里告诉你们这个事实。这一次讲演的要点，就只是强调这一事实：不可能向那些对数学缺乏某种深入理解的人以大家都能够感受到的方式忠实地说明自然定律之美。我很抱歉，但看来只能如此。

你们会说，“好吧，如果没有对定律的解释的话，那么至少要告诉我那条定律是什么吧。为什么不用话语而要用符号来告诉我呢？数学不过是一种语言，而我想要把这种语言转写过来。”事实上只要有耐心，我是做得到的，并且我想我已经在一定程度上做到了。我能够再讲得多一点，更仔细地说明公式的意义，譬如距离是原来的2倍，力就只有原来的四分之一，等等。我可以把所有的符号都转写成言语。换句话说，我能够更迁就那些外行的听众，让他们舒舒服服地坐在那里，指望我为他们说明什么东西。有不少人掌握怎么样对那些外行人使用外行的语言来说明这一类困难和深奥的问题的技巧，从而赢得了好教师或者好作家的美誉。外行的读者就一本一本书地翻阅，希望他能够避开那些复杂的数学，但那些东西总是避不开的，即使是专门讲解科学的最好作品也是如此。那个读者发现，他读到的总是越来越多的混乱，一个接一个的复杂陈述，一件接一件的难懂事物，它们看起来完全没有相互的联系。问题变得模糊不清，而他则希望或许在某一本书里会有某种解释……那本书的作者差不多做到了——也许另一个家伙就要得到成功。

但我不认为那是有可能做得到的，因为数学不仅仅是另一种语言。数学是一种语言加上推理；它就好像是一种语言加上逻辑。数学是一种推理的工具。事实上它是一些人的精心思考和推理的结果的一种庞大集合。通过数学就有可能把一条陈述同另一条陈述联系起来。例如，我可以说引力是指向太阳的。我也可以告诉你，就像我已经做过的那样，行星在运行，那么如果我从太阳画一条线到那个行星，再在隔了某一段确定的时间，例如三个星期之后，行星所扫过的面积将会准确地等于下面三个星期、再下面三个星期的时间里扫过的面积，并且在它环绕太阳运

行的每一个位置上都是如此。我可以仔细地说明上面两种陈述，但我不能够说明为什么这两种陈述说的是一回事。自然界表面上看起来的极大复杂性，以及它那每一条已经仔细地向你说明过的有趣的定律和规则，实际上都是十分紧密地交织在一起的。然而，如果你不能够欣赏数学，你就不能够从那些五花八门的事实中看出允许你从一件事实联系到另一件事实的逻辑。

也许你会觉得难以相信，我能够证明，如果力指向太阳的话，行星的矢径就会在相等的时间里扫过相等的面积。因而如果我做得到，我就来做这个证明，向你表明那两件事真的是等价的，使你能够欣赏到比仅仅两条定律的陈述更多的东西。我将要证明那两条定律是有联系的，因而只凭推理就可以把你从一条定律带到另一条，而数学正是一种有组织的推理方法。于是，你就能够欣赏到那些陈述之间的关系之美。下面我来证明受力指向太阳同在相等时间里扫过相等面积这两条陈述之间的关系。

我们从一个太阳和一个行星开始（图9），并且我们设想在某一时刻行星处在位置1上。它是这样运动的，比方说，一秒之后它移动到了位置2。如果太阳没有对行星施加什么力，那么，根据伽利略的惯性原理，它会严格按照一条直线前进。因此，经过同一段时间间隔之后，下一秒它会准确地沿着同一条直线走过同样的距离，到达位置3。首先我们要证明的是，如果没有受力，在相等的时间里行星矢径会扫过相等的面积。我提醒你，三角形的面积等于高乘底的一半。如果那是一个钝角三角形ABC（图10），它的高就是垂直线AD的长度，而底则是BC。现在让我们来比较当太阳没有施加什么力的时候行星矢径所扫过的各块面积（图9）。

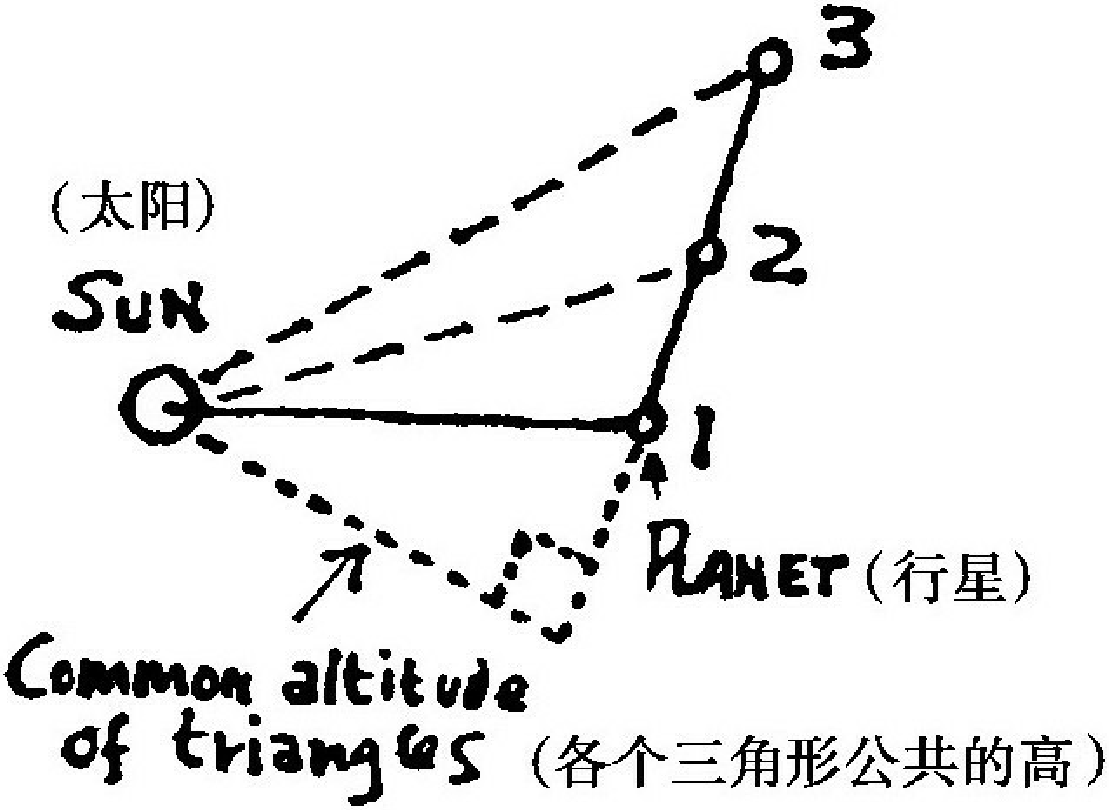

3
（太阳）
2
SUN
1
PLANET（行星）
Common altitude
of triangles（各个三角形公共的高）

图9

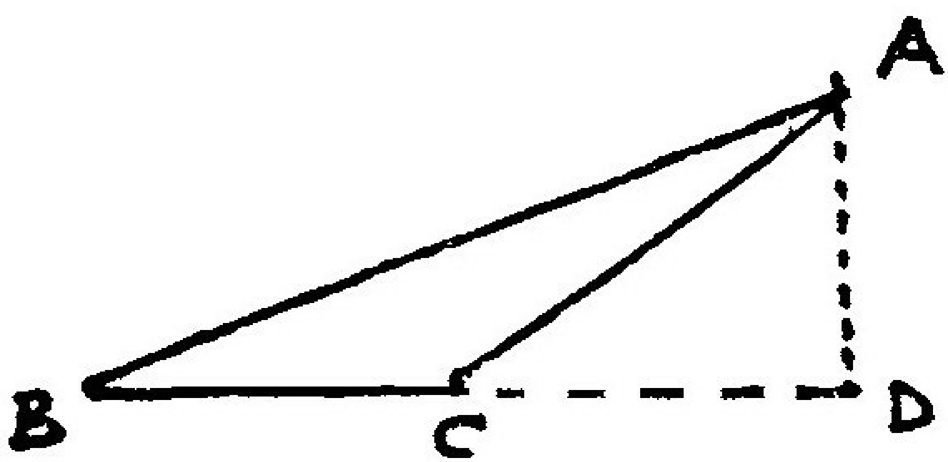

A
B
C
D

图10

记住，1—2和2—3这两段距离是相等的。问题是，相应的两块面积也是相等的吗？先看由太阳S以及1和2这两点构成的这个三角形。它的面积有多大？这块面积等于它的底1—2的距离，乘以从S到基线的垂直高度的一半。另外那个相应的从2运动到3的三角形呢？它的面积等于底2—3的距离，乘以从S到基线的垂直高度的一半。这两个三角形有同样的高，并且，我已经说过了，它们有相等的底。一切都很好。假使没有来自太阳的力，在相等的时间内就会扫过相等的面积。但存在着从太阳来的力。在1—2—3这段时间间隔中，太阳拉着行星，并且在朝向自己变化着的方向上改变着行星的运动。为了做一个良好的近似，我们取中间的位置，或者说是平均位置2，然后说在1—2—3这段时间间隔里，行星的运动在2—S上的方向上改变了某一数量（图11）。

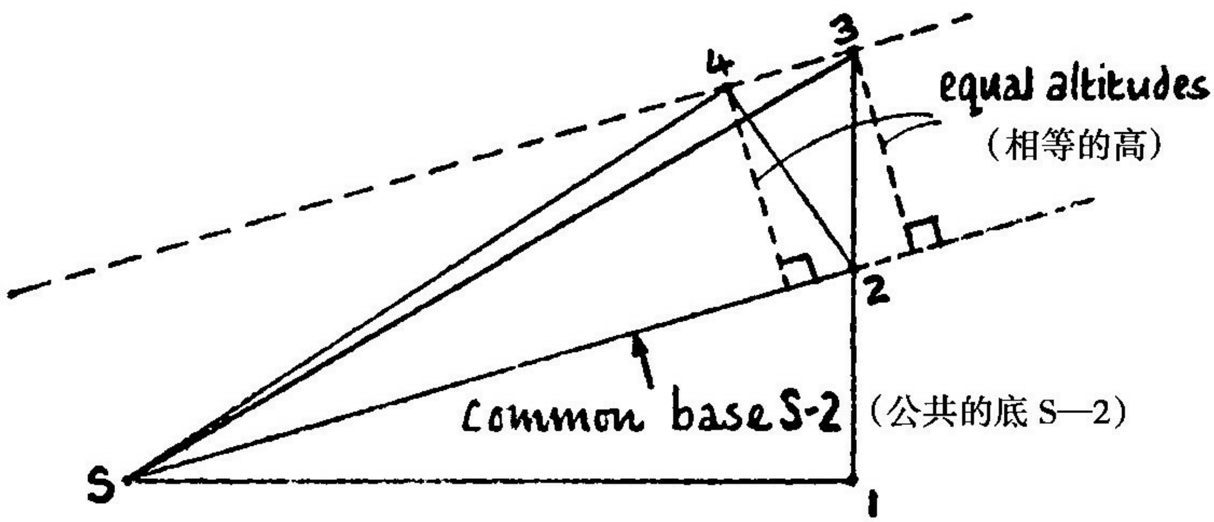


图11

这就意味着，虽然行星是在线段1—2上运动着，并且会在不受力时在下一秒继续沿着同一条直线前进，但由于太阳的影响，使得它的运动改变了一个数量，即在平行于直线2—S的方向上被拨动了。因此，下一步的运动是行星本身想要做的运动，同由于受到太阳的作用而发生的改变相结合。因而行星并没有真的到达位置3，而是落到了位置4。现在我

们要比较一下两个三角形S23和S24的面积，我将证明两者是相等的。它们具有相同的底S—2。那么它们有相同的高吗？确实如此，因为它们都落在两条平行线中间。从点4到直线S—2的距离等于从点3到直线S—2（的延长线）的距离。于是，三角形S24的面积就与三角形S23相等。我在前面证明了两个三角形S12和S23的面积是相等的，所以我们现在知道三角形S12的面积等于三角形S24的面积。那么，在行星的实际轨道运动中，第一秒所扫过的面积是与第二秒相等的。因此，通过上述的推理过程，我们看到了力朝向太阳和扫过的面积相等这两件事实的一种联系。这种论证不是很机灵吗？我这是直接从牛顿那里搬来的。所有这些论证包括插图，正是从他的《自然哲学之数学原理》，即简称为Principia的那本书里搬来的。唯一的差别只是在文字上，因为牛顿是用拉丁文写的，而我们这里用的是阿拉伯数字。

牛顿在他的书里是用几何方法来证明的。今天我们不再使用那种推理方法了。那种方法需要巧妙地画出一些正确的三角形，求出各块面积，并且要设计好证明的各个步骤。但在分析方法上已经有了很大的改进，这种方法要更快一些和更加有效。我想在这本书里展示的样子就是，运用更现代的数学记号方法，你什么都不必做，只需要写下一大堆符号，再进行推理和运算就行了。

我们要谈论面积变化得有多快，我们记为A·。当半径扫过空间而使面积变化的时候，这个量就是速度在垂直于半径的方向上的分量乘上半径，它告诉我们面积变化得有多快。因而它就是径向距离的分量乘上速度，即距离的变化率。

$$\dot{A} = \vec{r} \times \dot{\vec{r}}$$

现在的问题是面积的变化率本身是否在变化。这里的原则是说，面积的变化率是不随时间而变的。于是我们对这个量再次微分，意思是运用一点小小的技巧，把一些小圆点加到适当的位置上，如此而已。你需要去学习那些技巧；它不外乎是一系列人们已经发现的对这样的东西非常有用的一套规则。我们写作：

$$\ddot{A} = \dot{\vec{r}} \times \dot{\vec{r}} + \vec{r} \times \ddot{\vec{r}} = \vec{r} \times \vec{F}/m$$

式中第一项说的是取速度在垂直于速度的方向上的分量。它等于零；因为速度当然是同它自己的方向一致的。加速度就是二次微分，用r上面加两点表示，或者说是速度的微分，就等于力除以质量。

因此，这就是说，面积变化率的变化率同力在与半径垂直的方向上的分量成正比。但是，正如牛顿所说的那样，如果力是在半径方向，那么在与半径垂直的方向上就没有力，这就意味着面积的变化率是不改变的。

$$\vec{r} \times \vec{F}/m = 0 \quad \text{or} \quad \ddot{A} = 0$$

（或者）

这仅仅是使用不同的一种记号方法来展示分析的威力。牛顿多少知道怎么样做到这一点，用的是稍微不同的符号；但他为了使当时的人们有可能读懂他的著作，就用几何的形式写下了一切。他发明了微积分，那就是我刚才显示的那种类型的数学。

这是数学同物理学的关系的一个很好的示范。当在物理学的问题上遇到困难的时候，我们常常求助于数学家，他们也许已经研究过这一类东西，并且准备好一条推理的思路让我们利用。也有另外一种情况，那就是在物理学家已经发明了我们自己的推理思路的时候，数学家可能还没有觉悟到，我们就会把它回报给数学家。每一个对于任何事物做了精心推理的人，都是对你所考虑的事情是怎么回事的知识的一项贡献，而如果你把这些知识整理提炼出来并且送到数学系去，他们就会当作数学的一个分支写进书本里去。因而，数学就是从一组陈述推演到另一组陈述的一种方法。数学明显是对物理学有用的，因为我们有这些可以用来谈论事物的不同方式，而数学允许我们推演结果，分析形势，以及以不同的方式修改定律，以便把不同的陈述联系起来。事实上物理学家知道的知识的总量是很少的。他只是要记住一些规则，使他能够从一处到达另一处；而他总是对的，那是因为所有关于在相等的时间里，力沿着半径方向等各种各样的陈述，都是能够通过推理而找到互相之间的联系的。

现在又有了一个有趣的问题。是不是有一个出发点来推出整个理论呢？在大自然里是不是有某种特殊的样式或者秩序，借此我们能够理解某一组陈述更为基本一些，而另一组陈述则更适宜看作是结果呢？有两种看待数学的方式，为了这次讲座的目的，我把它们称为巴比伦传统和希腊传统。在巴比伦的数学学校里，学生们通过做大量的例题，直到他们掌握普遍的规则来学习一些东西。他们也会知晓大量关于几何学的知识、关于圆的许多性质、毕达哥拉斯定理、立方体和圆的面积；此外还会在某种程度上学到用来从一件事情到另一件事情的论证方法。他们会运用一些数量的表格去解出复杂的方程。一切都是为了计算出结果。但希腊的欧几里得发现，有一种方法，可以从特别简单的一组公理出发，导出几何学的所有定理。巴比伦数学家的看法，或者我称为巴比伦风格的数学是，你知道了所有不同的数学定理和它们之间的许多联系，但你永远也不会完全认识到，这都是能够从一批公理推出来的。最现代的数学都是集中在一些公理上，以及在关于什么是可接受作为公理的和什么是不可接受作为公理的一个非常确定的约定的框架之内的论证之上。现代几何学采取某些类似于欧几里得几何的公理，经过改进以求完善，然后证明这个理论体系能够得出什么样的推论。例如，不要期望新几何学会让类似于毕达哥拉斯的定理具有公理的地位。（这条定理说的是一个直角三角形的两条直角边上的两个正方形的面积之和，等于斜边上的正方形的面积。）而另一方面，根据笛卡儿关于几何学的另一种观点，毕达哥拉斯定理则是一条公理。

因此，我们要接受的首要事情是，即使在数学里，你也可以从不同的地方出发。如果所有定理都是由推理互相联结在一起的，就没有真正的理由说“这些就是最基本的公理”，因为如果有人告诉你某种别的做法，你也能够进行别种途径的推理。这就正如一座桥梁，它是由非常多的组件构成的，并且它们之间做了许多超出必需数量的联结，那么如果失落了某一些构件，你就能够以另一种方式把它们重新联结起来。今天的数学传统是从选取了一些特殊观念并且把它们约定为公理开始的，然

后再从那些公理建立起整个理论结构。我称为巴比伦派数学家的人则会说，“我正好知道这个，并且我正好知道那个，而且我也许知道那个；然后我就从那里做出所有东西来了。到了明天，也许我忘记了这种方法是行得通的了，但我记得另外有种方法是行得通的，于是我把它全部重新构造出来。我永远不十分肯定我应该从哪里开始，又应该在哪里结束。我只是时时刻刻都记得足够多的东西，以便在记忆消退或者其中一些部分失落之时，我每天都能够把那些东西重新拼接到一起。”

总是从一些公理开始的方法，在推导定理方面效率不是很高。要从在几何学里推出什么东西的时候，如果每一次都回到从几条公理出发的方法，那么你的效率不会很高。如果你记住了几何学里的几样东西，你总能够推演前进到别的地方，不过用别的方法效率要高得多。决定了哪一些是最好的公理之后，不一定就找到了在整个领域内进行推理的最佳方法。在物理学里我们需要巴比伦人的方法，而不是欧几里得或者希腊人的方法，我下面将会解释这是为什么。

欧几里得方法的问题是，把关于公理的某些东西看成是更有意义或者是更加重要。但是，例如，在引力的情况中我们要问的问题是：说力朝向太阳，或者说在相等时间里扫过相等的面积，哪一个说法更重要、更加基本，或者是一条更好的公理呢？从一种观点来看，关于力的陈述更好。如果我陈述的是力的性质，我就能够处理由许多粒子组成的系统，其中各个粒子的轨道不再是椭圆了，因为力的陈述告诉了我各个粒子之间是怎样互相拉动的。在这种情况下关于相等面积的定理不再适用。因此我想，应当把力的定理而不是把别的什么当作公理。然而，另一方面，等面积原理也可以推广成适用于由许多粒子组成的系统的另一条定理。这条定理说起来颇为麻烦，而且也不像原先关于等面积的陈述那样漂亮，但它也明显是从原先的定理衍生出来的。取一个由多个质点组成的系统，也许是由看作质点的木星、土星、太阳以及一大堆星星组成的一个体系，它们两两之间都有相互作用，并且离远看投影到一个平

面上（图12）。各个质点分别沿着不同的方向运动，我们取任意一点做参考点，然后计算从这一点到每一个质点的半径扫过多大的面积。在这种计算中，加进了质量的因子；如果一个质点的质量是另一个的两倍，扫过的面积就要算两倍。因此我们计算的是质点扫过空间的面积再乘上与其质量成比例的因子，把这些乘积都加在一起，得到的总结果不随时间变化。这个总量叫作角动量，而这一规律叫作角动量守恒定律。守恒的意思正是它不随时间而变。

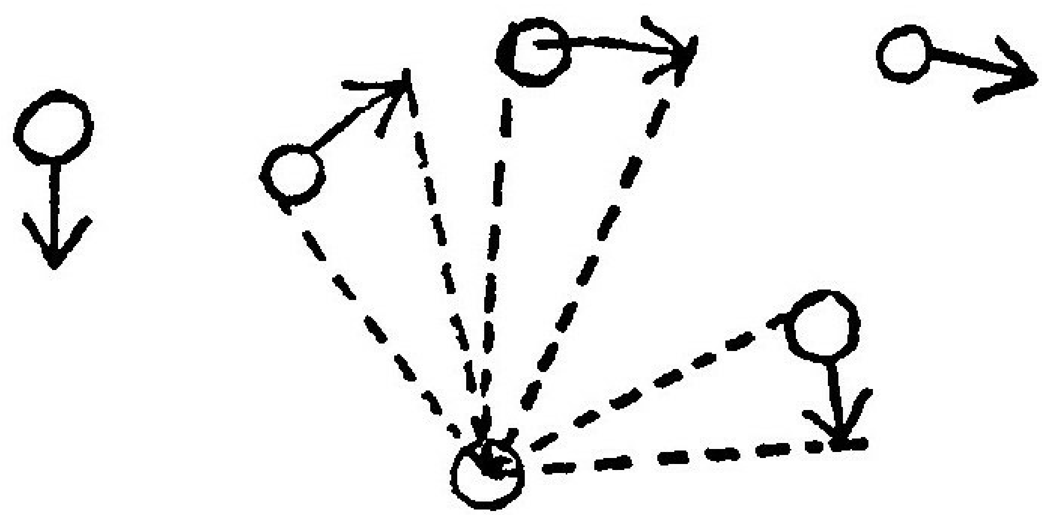


图12

这一定律的一个结果是这样的。设想有一大堆恒星坠落到一起，形成了一个星云或者星系。最初它们距离中心甚远，也即其半径很长，这时它们缓慢地移动，在单位时间内扫过一块小面积。当它们走近时，它们到中心的距离就会缩短，而当它们靠得很近时半径会变得很小；因而，为了在单位时间里扫过同样的面积，它们的运动必定要快得多。那么，你会看到当所有的恒星聚拢来的时候，它们越来越快地边摇晃边打旋，于是我们就能够大致理解螺旋状星云的形状了。我们也能够以同样的方式理解一名溜冰者的自转。他开始的时候把腿伸出去，缓慢地转

动，然后他把腿收回，就能够快速地自转了。当腿伸出去时，它贡献了可观的每秒扫过的面积，而后当他收回他的腿时，他就必须飞快地自转，以产生同样数量的面积。但我不是为溜冰者做这番论证的，溜冰者用的是肌肉的力量，而引力则是一种不同的力。然而这条定律对溜冰者也是适用的。

现在我们有一个问题，我们能够从物理学的一个部门，例如引力定律，推导出一条原理，而这条原理的有效性又比推导本身要广泛得多。在数学里不会出现这种情况；数学定律不会出现在没有预料到的那些地方。换句话说，假如我们说物理学的公设是引力的等面积定律，于是我们就可以推出角动量守恒，但只是对引力问题有效。然而，我们从实验发现了，角动量守恒是一样意义广泛得多的东西。牛顿有其他一些公设，他可以由此推出更加普遍的角动量守恒定律。但牛顿的那些定律是错的。没有力，它就是一堆废话，质点没有轨道，如此等等。然而，这种类比，关于面积的原理同角动量守恒的精确转换仍然成立。在量子力学的原子运动里它亦成立，并且就我们所知，今天它依然精确地成立。我们有这些意义广泛的原理，从它们可以得出各种不同的定律，如果我们把推导过程看得太重要，并且觉得一条定律能够成立只是因为另一条定律成立，那么我们就难以理解物理学的各个不同分支之间的相互联系。有朝一日物理学完成了，我们掌握了所有的定律，那时候我们也许可能从某些公设开始，无疑有人会想出一种特别的方法，能够从这些公设出发推导出所有的其他东西来。但我们现在还不知道所有的定律，我们能够运用某些定律来猜出一些现在还证明不了的定理。为了理解物理学，人们总是要在逻辑上保持一种灵巧的平衡，并且在他们的脑子里总要记住所有不同的命题以及它们之间的相互关系，因为新的定律往往是在能够从它们推导出来的范围之外。如果所有定律都已知晓，这种做法就不再重要了。

另一件事，一件在数学同物理学的关系方面的有趣而十分奇怪的

事，是你能够通过数学论证证明，有可能从许多个看起来不同的出发点开始，推导出同样的一个结果。那是很清楚的，如果你有了一些公理，你也可以从某些定理出发，但物理学的诸定律实际上是这样微妙地构造起来的，使得它们的一些等价的不同陈述，具有性质上不同的特征，这就使得它们变得非常有趣了。为了举例说明，我要以三种不同的方式来陈述引力定律，它们都是精确等价的，但听起来却截然不同。

第一种陈述是，在物体之间有按照我在前面向你们给出过的公式所描写的力：

$$F = G\frac{mm'}{r^2}$$

每一个物体，当它感受到作用于它上面的力时，就会产生加速，或者说以每秒改变一个确定数量的方式改变它的运动。这就是陈述这条我把它叫作牛顿定律的定律的正规方式。定律的这一种陈述说，力依赖于处在远距离之外的什么东西。它具有一种我们称为非定域的性质。作用到一个物体之上的力，取决于处在某种距离之外的另一个物体。

你也许不喜欢超距作用（action at a distance）的观念。这一个物体怎么会知道在一段距离之外发生了什么事呢？因而就有了陈述定律的另一种方式，它是一种十分奇怪的叫作场的方式。它难于说明白，但我想向你们讲讲它像什么的一种粗略的概念。它说的是一种完全不同的东西。在空间中的每一个点都有一个数（我知道它是一个数，而不是一种

机制：那是物理学描写的一种麻烦，它必须用数学表达），并且当你从空间中的一处去到另一处时，那些数就会发生改变。如果有一个物体坐落在空间中的一点，它所受的力的方向沿着那个数变化得最剧烈的方向（我会给出它的通用名称——势，力的方向沿着势变化得最剧烈的方向）。此外，力的大小正比于当你在空间中移动的时候势变化得有多快。那是这种陈述的一部分，但还不够，因为我还没有告诉你怎么去确定势在空间中变化的规律。我会告诉你，势与到每一个物体的距离成反比，但那就回到了超距作用的概念了。你能够以另一种方式来陈述这条定律，在这种陈述里你不需要知道在一个小球之外的任何处所发生了什么事。如果你想知道在球体中心的势有多大，你只需要告诉我在球体表面上的势，不管这个球体多么小。你不必去观看外部，你只是告诉我在邻近有什么以及在球体里有多少质量。规则是这样的，球体中心的势等于球体表面上的势的平均值，减去一个我们已经在其他方程里见过的那个常数G除以球体半径（我们称之为a）的2倍，然后再乘上球内的质量，如果球是足够小的话。

$$\text{Potential at centre} = \text{Av. pot. on ball} - \frac{G}{2a}(\text{mass inside})$$

中心的势=球面上的势的平均值-$\frac{G}{2a}$（球内的质量）

你们看，这条定律是别开生面的，因为它讲的是，在一点上发生的情况，是由同它非常接近的区域上的情况决定的。牛顿定律告诉我们的是，一个时刻的情况是由另一时刻的情况决定的。它给出了怎么样从一瞬间求出另一瞬间的方法，但在空间上则是从一个地点跳跃到另一个地点。第二种陈述在时间上和在空间上都是定域的。因为它仅仅取决于近邻的情况。但这两种陈述在数学上是完全等价的。

还有另外一种完全不同的陈述这条定律的方式，不仅在哲学思想上而且在所涉及的定性概念上都是不同的。如果你不喜欢超距作用，我在上面已经证明了，你能够撇开它不用。现在我想要向你们介绍一种在哲学思想上截然相反的陈述。在这种陈述里，完全不必讨论物体是怎么样从一个地点去到另一个地点的；全部内容包含在一个总括性的陈述里，如下所示。当你有一定数目的质点，并且你想要知道其中一个质点怎么样从一个地点移动到另一个地点的话，你想象出一种可能的运动，它是由在一段给定的时间内从一个地点到另一个地点的移动得出来的（图13）。

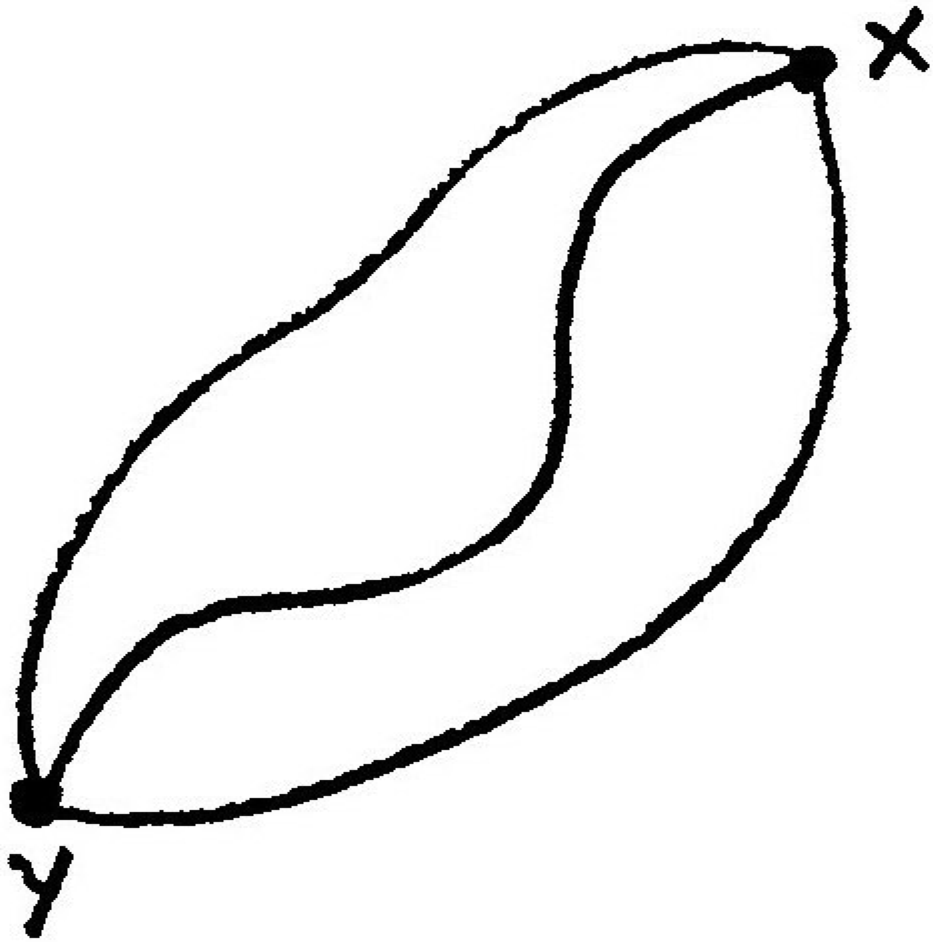


图13

比方说质点要在1小时之内从X到Y，而你想要知道它能够走什么样的路线。那么，你要做的事就是设想一些不同的曲线，然后对每一条曲线计算某一个量。（我不想在这里向你们讲明白这个量是什么，但对那些已经听说过下面这些名词的人，可以说在每一条曲线上的那个量是动能和势能之差的平均值。）如果你对一条路线算出了这个量，然后算另一条，你将会对每一条路线得到一个不同的数。其中有一条路线给出了可能的最小的数，而那就是质点在自然界中实际采取的路线！我们现在通过对全部曲线的一个什么量的计算来描述实际的运动，即椭圆。我们

这样做的时候，已经失去了质点感受到拉力并且由于受力而使运动发生变化那样的一种因果性。代替那种因果性的是，质点以某种广博的方式嗅到了所有的曲线，所有的可能性，然后决定采取哪一条（选取我们的量最小的那一条）。

这是一个用广泛范围上的各种美丽方式描写自然的例子。当人们说自然界必定有因果性的时候，你就能够使用牛顿定律；或者他们说自然界必须用最小值原理陈述的时候，你就用刚才讲到的那种方式来谈论；或者如果他们坚持说自然界必须有一种定域场——好的，你也能够那样做。问题是：哪一样是正确的呢？如果这些不同的做法在数学上不是精确地等效，如果从某些做法会得出同另一些做法不同的结果，那么我们需要做的是进行实验，以找出自然界实际上选择的是哪一种做法。人们聚集到一起进行哲学争辩，论证他们喜欢某一种做法胜于另一种；但我们已经从大量经验得知，所有关于自然界是怎样运作的种种哲学直觉都是不成功的。我们要做的只是算出所有的可能性，并且尝试所有的选择。但在现在这一种特殊的情况下，我正在讲的几种理论方法都是精确地等价的。牛顿定律、定域场方法和最小值原理这三种不同的数学程式[14]，给出的都是精确的相同的结果。那么我们还有什么可做呢？你可以在所有的书籍里读到，在科学上我们不能够决定这一种方法优于另一种方法。那是对的。它们在科学上是等效的。不可能做出一个那样的决定，因为如果得出的结果都是一样的话，就没有实验方法能够把它们分出高下来。但在心理学上会觉得它们在两个方面是十分不同的。第一，你会在哲学上喜欢它们或者不喜欢它们，而只有靠学习才能克服那些弊病。第二，它们在心理学上是不同的，因为当你尝试去猜测新的定律时，它们是完全不等效的。

只要物理学尚未完成，只要我们仍然在尝试了解其他定律，那么那些不同的可能程式就会提供给我们一些关于在别的环境中会发生什么的线索。在那些情况下它们在心理学上不再是等价的了，在我们猜测在一

种更广泛的形势下物理定律看起来会是什么样子的时候，它们会发挥不同的作用。举一个例子，爱因斯坦认识到电信号不可能传播得比光速更快。他猜想那是一条普遍的原理。（这就正如你抽象出角动量的概念，并且把它从你已经证明的一个情况推广到宇宙间其余现象时所做的猜想游戏一样。）他猜想这条原理是普遍适用的，他还猜想对引力也是适用的。如果信号的传播无论如何也不能比光速快，就会弄明白，把力描写成即时起作用的方法是十分不妥的。因而，在爱因斯坦对引力理论的推广中，牛顿那种物理学描述的方法就变得完全过时和太过复杂了。与此同时，场的方法和最小值原理却显得简洁和单纯。我们还没有在这后面两种方法中分出个高下来。

事实上，后来又发现，这两种方法当中，哪一种都不能够以我刚才所陈述的方式被照搬到量子力学里去，但我们弄明白了，一种最小值原理存在的事实，又是在一个微小尺度上粒子遵从量子力学规律的事实的结果。按照我们现今的理解，最好的定律正是这两者的结合，其中我们用到最小值原理加上定域场的定律。现在我们相信物理学的定律需要既有定域的特征，又要有最小值原理，但我们并没有真正弄明白。如果你有一个理论结构，它仅仅是部分正确的，而其中有些东西要失效了，那么如果你写你的理论的时候，写出那些正确的公理，也许只有一条公理是错的而其余仍然可以保留，你就只需要改动那错了的一点东西。但是，如果你使用另外一套公理来写你的理论，就可能会因为它们都依赖于错了的那一点东西，而使它们完全垮台。我们不可能在缺乏直觉的情况下未卜先知，而直觉则是写出理论使得我们能够发现新情况的最佳方式。我们必须在我们的头脑里时时考虑怎么样看一件事物的所有种种不同的方式；因而物理学家们是在做巴比伦式的数学，而不太注意从一些固定的公理出发的精密推理。

自然界的一种惊人特征是可能的解释性方案的多样性。这正是因为那些定律是如此特殊和精巧的缘故。例如，反平方定律是一种允许变成

定域描写的定律；如果是反立方定律的话就不可能那样做。在方程的另一头表示的，力同速度的变化率相关这一事实，就是允许以最小值原理的方式写出这些定律的依据。例如，如果力正比于位置而不是速度的变化率的话，你就不可能用那种方式写出定律。如果你对那些定律改动得太多，你就会发现你只能以较少的方式写出它们。我总是发现那样一种奥秘，而我不明白为什么物理学里正确的定律看来总能够以这么多的各种各样的方式来表达。这些定律看来总是能同时穿过几个入口似的。

我还要说说在数学同物理学的关系方面的几件更普遍一点的事。数学家们仅仅处理推理的结构，并不真正关心他们所谈论的是什么东西。他们甚至不需要知道他们所谈论的是什么东西，或者，像他们自己常说的那样，并不关心他们说的东西是否真正存在。我将要说明这一点。你陈述了一些公理，这样那样的东西是如此如此的，这样那样的东西是如此如此的。然后是什么呢？可以进行逻辑推理而不必知晓这样那样的词语是什么意思。如果关于公理的陈述是精心构成的，而且是足够完整的，做逻辑推理的人在以同一种语言推导新结论的时候，就不必掌握关于那些词语的实际意义的任何知识。如果我在一条公理里使用了三角形这一词语，那么在结论里就会出现一些关于三角形的结论，而在做推理的人也许并不知道三角形是一件什么东西。但是当我读到了他给我的结论，然后回溯说，“你所讲的三角形，那就是一种三条边的什么东西，它是这样那样的”，于是我就知道了他推出来的新事实了。换句话说，如果你有了关于现实世界的一组公理的话，数学家们已经准备好了抽象的推理方法供你使用。但物理学家所说的一切词语都是有意义的。那是一件十分重要的事，许多从数学的道路踏入物理学的人都不懂得这一点。物理学不是数学，数学也不是物理学，两者是相辅相成的。但在物理学里你要理解词语同现实世界的联系。你最终必须把脑子里所想的东西转换为语言文字，转换为同现实世界的联系，以及你正在那里做实验时所用到的黄铜和玻璃等部件的联系。只有通过这种方式你才能发现你的结果是否正确。这是一个单凭数学完全无能为力去解决的问题。

当然，已经发展完善的数学推理方法，对物理学家来说明显是具有巨大的威力和用途的。另一方面，有时候物理学家的推理对数学家也是有用的。

数学家们喜欢把他们的推理做得尽可能的普遍。如果我对他们说，“我想要谈谈普通的三维空间，”他们会说，“如果你有一个n维空间，那么就有这些定理。”“但我只想知道三维的情况，”“好的，把n=3代入进去！”结果表明，当运用到一种特殊情况时，数学家们的那些复杂定理中，有许多会变得简单得多。物理学家们总是对特殊情况感兴趣；他对普遍性的东西从来不感兴趣。他正在谈论某些东西；他不是在抽象地谈论任何东西。他想要讨论三维空间里的引力；他从来也不想讨论在n维空间里的任意力。因而需要一定程度上的简化，因为数学家的这些东西是为在一个广泛范围里的许多问题做准备的。这其实是十分有用的，并且后来总是轮到遇上了困难的物理学家回过头来对数学家说，“对不起，你上次要对我讲关于四维空间的问题……”

当你知道你正在谈论的是什么东西的时候，你用某些符号来代表力，用另一些符号代表质量、惯性，如此等等，那么你就能够运用一大堆普通常识，凭着本能来感受世界了。你已经看到了各种各样的事物，而且你多少知道了那些现象是怎么样发展下去的。但那些乏味的数学家们要把它转换为一些方程，并且由于那些符号对他说来并不意味着任何东西，他除了数学上的精确严格和论证中的小心谨慎之外别无良策。多少懂得了答案是怎样得来的物理学家，就能够挑选某种猜想，并且相当迅速地进行下去。具有高精密度的数学严格性，在物理学里不是十分有用的。但我们不应该为此批评数学家们。不必那样做正是因为，他们必须以那种方式做的一些东西对物理学是有用的。他们是在做他们自己的工作。如果你想要别的什么东西，那你就为你自己把它做出来吧。

下一个问题是，当我们试图猜测一条新定律的时候，我们是否应当

运用本能感觉和哲学原理呢？例如："我不喜欢最小值原理"，或者"我就喜欢最小值原理"；"我不喜欢超距作用"，或者"我就喜欢超距作用"；等等。模型能够在多大程度上有帮助呢？有趣的是，模型确实经常很有帮助，而且大多数物理学教师尝试去讲授怎么样用一些模型去得到事情是怎样做出来的良好物理感觉。但是，结果表明，最伟大的一些发现往往是从某种模型抽象出来的，而那模型本身却一点也不对头。麦克斯韦发现电动力学，起先是在空间中有一大堆空想的齿轮和惰轮的模型上做出来的。但当你抛弃了空间中的所有那些惰轮等东西，电磁理论仍然成立。狄拉克[15]简单地通过猜出方程而发现了相对论性量子力学的正确定律。猜出方程的方法看来是比猜出新定律更加有效的方式。这一事实再次表明了数学是表达自然的一种深刻的方式，而想要把大自然用一些哲学原理来表达，或者用一些本能的机械式感觉来表达的任何尝试，都不是一种有效的方式。

有件事总是使我困惑不已，根据那些我们今天掌握了的定律，对于无论是多么小的空间区域，或者无论是多么小的时间间隔，原则上都可以运用一台计算机进行无限大数目的逻辑运算，从而构想出那里面发生了什么事。在那微小的空间区域里，我们怎么能够知道都发生了些什么呢？为什么应当用无限大数量的逻辑运算去构想出在一块微小的空间/时间区域里所发生的事呢？因而我时常做这样的假设，最终物理学也许不需要一种数学陈述，最后会揭示出那根本的机制，结果得出的定律会是简单的，就像在一张棋盘上看起来很复杂的棋赛，遵从的是简单的规则一样。但这一猜想的性质是和那些说"我就喜欢这样"，"我不喜欢那样"的其他人一样的，而对这些事情做过多的预测是不明智的。

我想引用金斯[16]的一句话来做总结。他说，"伟大的造物主看来是一位数学家。"对那些不懂数学的人来说，的确难于使他们理解对大自然的美、那深层的美的一种真正的感觉。C.P.斯诺[17]谈到有两种文化。我真的那么想，那两种文化将人们划分为两部分，一部分对数学有足够

的理解经验，使得他们能够欣赏大自然之美，而另一部分则因为不懂数学而做不到。

不幸的是这里需要数学，而对某些人来说数学是困难的。有一个流传的故事（我不知道它是否当真），说的是当有一个国王试图向欧几里得学习几何学的时候，他抱怨几何学太困难了。而欧几里得则说，“没有通向几何学的王室道路。”[18]这里也没有王室道路那样的坦途。物理学家不能够把数学转换为另一种语言。如果你想学习自然界的情况，欣赏自然界之美，那就必须懂得她所说的语言。她只以一种形式提供她的信息；我们不会狂妄到要求大自然做出改变来迎合我们的意愿。

你们所能够做出的所有智力上的论证，都不可能讲给聋子的耳朵听，说音乐真的有多么美妙。同样，在世界上所有智力的论证，也不可能把对世界的理解传达给那些“另一种文化”的人。哲学家们或许会试图通过告诉你们关于自然界有些什么性质而教导你。我则尝试向你们描述自然界。但像哲学家那样是讲不清楚的，因为那是不可能的。或许那是因为他们的见识局限在某些人想象人类是处在宇宙中心那种方式中的缘故吧。

第3章
伟大的守恒定律

在学习物理学诸定律的时候，你会发现有许多复杂的具体定律：引力定律、电磁定律、核作用定律，等等，但在这些具体定律的多样性之上，浮现出一些所有定律看来都要遵从的伟大的普遍原理。这些原理中的一些例子是一些守恒原理、某些对称性质、量子力学原理的一般形式，以及无论你喜欢还是不喜欢，正如我们在上次已经讲过的那些定律。所有的这些定律都是数学化的，在这次讲演里我想谈谈守恒原理。

物理学家以一种特定的方式来使用普通的词语。对他来说，守恒定律意味着有一个数，你能够计算出它在一个时刻的值，然后任由自然界进行各种各样的变化，如果你再计算出这个数在一个较晚的时刻的值，它将会与以前相同，这个数没有变化。一个例子是能量的守恒。有一个量你能够依据一定的规则去计算，而不论发生什么情况，总是得到同一个结果。

现在你可以看到，这样一个东西可能是很有用的。倘若我们把物理学，或者进而把大自然类比成是一场巨大的棋赛，棋盘上用到千万只棋子，而我们则试图发现那些棋子走动的规则。进行这场棋赛的伟大的神仙们出手非常快，使得我们跟也跟不上，看也看不清。然而，我们要弄清楚的只是下棋的某些规则，而的确有某些规则是我们不需要盯住每一着棋就能够发现的。例如，假定在棋盘上只有红方的一枚象，那么因为象是按对角线走动的，它就总也不会改变它所坐落的那个方块的颜色[19]，如果在那些神仙下棋的时候我们有一会儿瞄着别处，然后再看回来，我们能够期望看到仍然有一枚红方的象在棋盘上，或许是在一个

不同的位置上，但仍然是在同样颜色的方格上。这就是守恒定律的本性。要认识到这一点，我们丝毫也不需要对这种棋赛的什么东西达到深入的了解。

当然，在棋赛里这一特别的定律并不一定是完全有效的。如果我们看着别处有一段时间，那么可能那枚象被吃掉了，或者有一枚兵走过来靠近一枚后，而那位神仙决定宁可让一枚象而不是一枚兵占领那枚兵的位置，它也许就是一个黑色的方格。不幸的是，很可能我们今天看到的有些定律是不完全精确的，而我要告诉你们的是我们现在所看到的样子。

我说过，我们以一种技术性的方式来运用普通的词语，而在这一章的标题“伟大的守恒定律”里有“伟大”这个词。这不是一个技术性的词：它放在这里仅仅是为了使标题看起来更加醒目，而我也可以只把这一标题叫作“守恒定律”。有几条守恒定律不再普遍成立了；它们只是近似地正确，但有时候也是有用的，于是我们也许可以把它们称为“渺小”的守恒定律。我在下面会提到一两条那些不再普遍成立的守恒定律，但我正要讨论的那些主要的守恒定律，依我们今天的认识来说，乃是绝对精确的。

我愿意从一条最容易理解的守恒定律开始，那就是电荷守恒。在世界上有一个数，世界的总电荷，无论发生了什么事，它总是不变化的。如果你在一处地方失去了电荷，你就会在另一处找到它。守恒的是所有电荷的总量。这是由法拉第[20]通过实验发现的。这一实验是在一个大金属球壳里面做的，球壳外面接上一台灵巧的验电器，以便检测球壳上的电荷，因为小量的电荷就能够在验电器上引起明显的反应。在球壳里面，法拉第装上各种各样的古怪的电学设备。他通过用猫的毛皮摩擦玻璃棒而产生电荷，并且他在这个球壳的内部做了一些巨大的静电仪器，使得这个球壳里面就像是那些恐怖电影的工作室似的。但在这些实验期

间，在球壳表面上没有检测到电荷；没有产生净电荷。虽然玻璃棒在同猫的毛皮摩擦起电之后会带上正电，同时在毛皮上则带上等量的负电，而总的电量总是为零，因为如果在球壳的内部产生了任何净电荷的话，就会在球壳外部的验电器上看到反应。因而总电荷是守恒的。

这一结果是容易理解的，因为有一个非常简单的模型可以对此做出解释，而完全不必用到什么数学。假定世界仅仅由两种粒子组成，那就是电子和质子（曾经有一段时间，人们把世界就看得这么简单），并且假定电子带着一份负电荷而质子带着一份正电荷，因而我们能够区分这两种粒子。我们能够拿起一块物质，向它上面多加一些电子，或者取走一些电子；再假定电子是永恒不变的，它们绝不会蜕变或者消失——那是一条简单的命题，甚至并非数学化的——那么质子的总数减去电子的总数将不会改变。事实上在这个特定的模型里，质子的总数是不变的，电子的总数也是如此。但现在我们集中注意的是电荷。质子贡献正电荷而电子贡献负电荷，而如果这些粒子永远都不会创生也不会消灭，那么总的电荷就会保持不变。我要在讲演的过程中把讲到的一些守恒量的性质列成表，而我将从电荷开始（图14）。对电荷是否守恒的问题，我在表里写出“是”。

这一理论上的解释十分简单，但后来发现电子和质子并不是永恒不变的。例如，一颗叫作中子的粒子能够蜕变为一颗质子和一颗电子——再加上某种我们下面将会讲到的东西。但中子又是电中性的。因而质子不是永恒不变的，电子也不是永恒不变的，因为它们都可以从一颗中子蜕变而生成，在这个过程中仍然可以计算电荷的得失；在这个过程开始的时候，我们有零电荷，而在过程结束的时候我们有一个正电荷和一个负电荷，把两者加到一起就变成零电荷了。

	Charge	Baryon No.	Strangeness	Energy	Angular Momentum
Conserved (locally)	Yes	Yes	Nearly	Yes	Yes
Comes in Units	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Source of a Field	Yes	?	?	Yes	

	电荷	重子数	奇异数	能量	角动量
守恒（定域性）	是	是	几乎是	是	是
以基本单元出现	是	是	是	否	是
一种场的源	是	?	?	是	

注：这个图表是费曼教授在讲演的过程中不断增添而逐步完成的。

图14

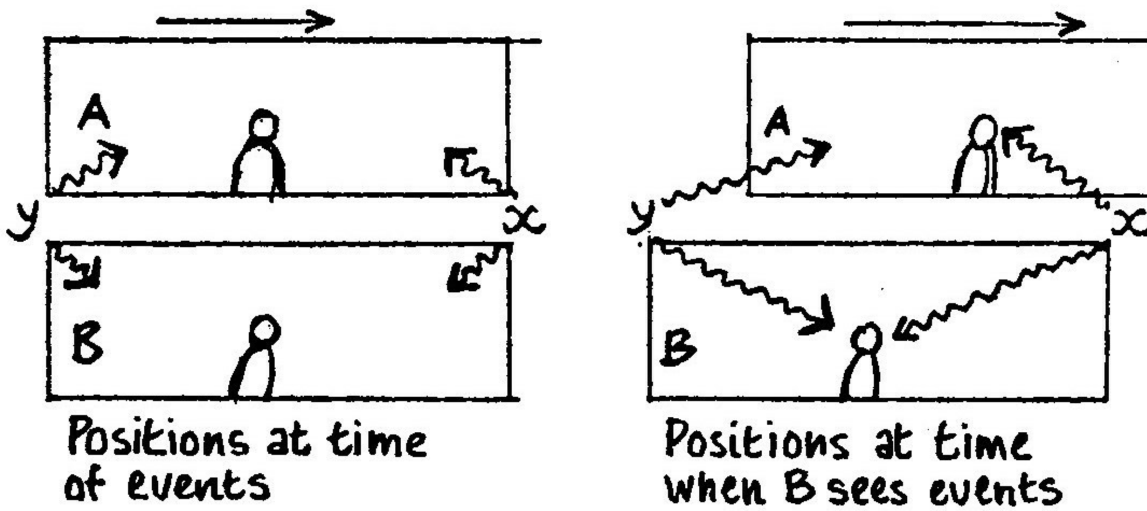
一个类似事实的例子是除了质子之外，存在着另一种带正电的粒子。它叫作正电子，一颗正电子是一颗电子的某种影像。它在许多方面都正如电子一样，除了它带有正电荷之外；此外，更加重要的是，它被叫作一种反粒子，因为当它遇到一颗电子时，两者会互相湮灭和蜕变，而剩下来的只有光。一颗电子加上一颗正电子正好产生出光。实际上这种光是肉眼看不见的；它是一种伽马射线；但对物理学家来说是一样的东西，只是波长不同罢了。因而一个粒子同一颗反粒子能够湮灭。光不带电荷，但我们拿掉了一个正电荷和一个负电荷，因而我们没有改变总电荷。电荷守恒的理论因此就变得有点复杂了，但仍然是非数学化的。你简单地把正电子的数目同质子的数目加在一起，再减去电子的数目就行了。但还有别的一些粒子是你需要去计数的，例如带负电的反质子，带正电的π正介子，等等；事实上在自然界中的每一种基本粒子都带有一份电荷（也可以是零电荷）。我们要做的就是把电荷的总数加起来，不论在任何反应中发生了变化，反应之前的电荷总量总是与反应之后的

电荷总量相等的。

这是电荷守恒的一个方面。现在发生了一个有趣的问题，是不是仅仅说电荷守恒就够了，或者我们还要多说一些？假若电荷守恒是因为它是一些可以到处移动的真实的粒子，那它就会具有一种非常特别的性质。可以用两种方式来保持在一个盒子里的电荷的总量。可以说是电荷从盒子里的一个地方移动到另一个地方。而另有一种可能，就是电荷在某一个地方消失了，同时在另一个地方则出现了电荷，这两件事有即时的关联，这样就使得电荷的总量永远不会改变。守恒的第二种可能性是同第一种不同的，在这种形式里如果一个电荷在一处消失而同时在另一处冒出来，那就要有点什么东西在两个地方之间传送。电荷守恒的第二种形式叫作定域的电荷守恒，它的含义比单单说电荷的总量不变要深刻得多。那么你看到了，我们正在改进我们的定律，而如果它是对的，那么电荷就是定域守恒的。事实上它是对的。我已经再三再四地试图向你们说明某些推理的可能性，一种观念同另一种观念互相联系的可能性，并且我现在想要对你们描述一种原则上是出自爱因斯坦的论证。这种论证指出，如果有什么东西守恒的话，它必定是定域守恒的。我现在把它应用到是电荷的情况。这一论证依赖于一件事，如果有两个人，分别乘坐在两艘宇宙飞船里，那么当他们彼此相遇时，哪一个家伙是在运动、哪一个家伙是坐着不动的问题，是不能靠任何实验来判定的。那就叫作相对性原理，说的是匀速直线运动是相对的，我们能够以这一方或者那一方的观点去观察任何现象，而不能够说哪一个静止不动和哪一个是在运动着。

假定我有两艘宇宙飞船，A和B（图15）。我先采取A是在B旁边走过的观点。记住那只是一种看法，你也可以按另一种观点看，最后你也能看到同一种自然现象。现在假定那个静止不动的人想要论证是否在他的飞船一端看到一个电荷消失的同时，在另一端有一个电荷出现，为了确保这种同时性，他不能够坐在飞船的前面，因为由于光的传播需要时

间，他就会先看到一个再看到另一个；因而我们假定他非常小心地坐在飞船中间的正中央。在另外一艘飞船上的那另一位也以同样的方式做观察。现在发生了一次闪电，在x点产生了电荷，与此同时在飞船的另一端电荷湮灭了，它消失了。注意，这两件事发生在同一时刻，完全符合我们关于电荷守恒的观念。如果我们在一处失去了一颗电子，我们就在别处得到另一个，但没有什么东西在这两个地点之间传送。让我们假定电荷消失时发出一次闪光，电荷创生时也发出一次闪光，使得我们能够看得到发生了什么事。静止的B说两件事发生在同一时刻，因为他知道他处在飞船的中央，而光从电荷产生所发出闪电的x处传到他那里的时间，与光从电荷消失所发出闪电的y处传到他那里的时间是相同的。因而B会说，“是的，当一个消失的时候，另一个就创生了。”但我们在另一艘飞船上的朋友看到了什么呢？他说，“不，我的朋友，你错了。我看到x处的闪光比y发生得早。”这是因为他正朝向x运动，因而从x处传来的光所走过的距离，要比从y处传来的光所走过的距离短，这也是因为他正在远离y的缘故。他会说，“不，电荷先在x处创生，然后再在y处消失，因而在x处创生之后到在y处消失之前，在这段短时间内我多得到了一些电荷。电荷并不守恒。那条定律被违反了。”但第一个人说，“是的，但你是在运动。”而第二个人则说，“你怎么知道我在运动？我以为是你在运动哩。”如此等等。如果我们不能够通过任何实验去区分我们是不是在运动时的物理定律有什么不同，那么如果电荷守恒定律不是定域性的，在绝对的意义上，就只有某一类人会看到它是成立的，这指的是静止不动的那个家伙。但是，根据爱因斯坦的相对性原理，这样的一种情况是不可能发生的，因此不可能有非定域的电荷守恒。电荷守恒的定域性同相对论是相容的，而后来明白了，所有的守恒定律都是如此。你可以见识到，如果有什么东西守恒的话，就一定能够运用同样的原理。



（事件发生时 A 和 B 的位置）　（B 看到事件时 A 和 B 的位置）

图15

关于电荷还有另外一件有趣的事，一件非常奇怪的事，我们今天还没有得到一种真正的解释。这件事与守恒定律完全无关，它是完全独立的另一件事，即电荷总是一种基本单元的倍数。当我们有一颗带电粒子，它会有一个电荷或者两个电荷，或者有负一个电荷、负二个电荷。回到我们的表，虽然这张表没有对电荷守恒说些什么，我必须写下守恒的那个东西是以基本单元出现的。它以基本单元出现非常好，因为这就使得电荷守恒的理论很容易理解。它正是我们可以计数的东西，它可以从一个地点到另一个地点。最后在技术上弄明白了，一件东西的总电荷是容易用电学的方法来测定的，因为电荷具有一种非常重要的特征：它是电场和磁场的源。电荷是一个带电物体同电场的相互作用的量度。因而我们应当在表上添加的是：电荷是一种场的源；换句话说，电的性质是同电荷相关的。于是，在这里守恒的那个特殊的量，具有两个同守恒的性质并不直接相关的，但仍然是很有趣的方面。其一是它是以基本单元出现的，其二是它是一种场的源。

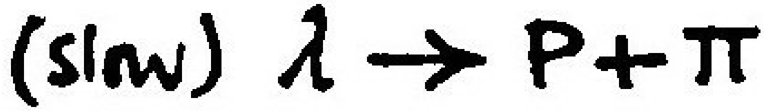
有许多条守恒定律，我会给出与电荷守恒同一类型的更多一些的守

恒定律，它们仅仅涉及计数即数出数目。有一条守恒定律叫作重子数守恒。一颗中子可以变成一颗质子。如果我们把每一颗中子和每一颗质子都算作一个叫作重子的单位，那么我们并没有损失重子。中子带有一个单位的重子荷，或者说代表一颗重子，一颗质子也代表一颗重子——我们所做的不过是计数和制造新名词——因而如果我正在讲的，一颗中子衰变到一颗质子、一颗电子和一颗反中微子的反应过程发生了的话，总重子数并没有改变。然而在自然界还有其他一些反应。一颗质子加上一颗质子可以产生为数众多的一些奇异的对象，例如一颗λ、一颗质子和一颗K正介子。λ和K正是这些特别的粒子的名称。



（容易发生）

我们知道，在这个反应中我们放进去了两颗重子，但我们只看到有一颗重子出来，因而有可能或者λ或者K^{+}带有一个重子荷。如果我们后来接着研究λ粒子，我们发现它非常缓慢地衰变为一颗质子和一颗π介子，最终那颗π介子又衰变成电子和其他东西。



（缓慢发生）

现在我们看到的是，重子重新出现在质子上，因而我们设想λ带重子荷1，而K^+不带重子荷，或者说K^+的重子荷为零。

好了，在我们的关于守恒定律的表（图14）里，我们在有了电荷之后，现在又有了与重子相关的类似情况，得出一条特殊的规则，重子的数目是质子的数目，加上中子的数目，加上λ的数目，减去反质子的数目，减去反中子的数目，如此等等；它只是一道计数式的命题。它是守恒的，它以基本单元出现，每一个人都通过类比设想它是一种场的源，虽然没有人知道是不是这样。我画出这些表的原因是我们正在试图猜出核相互作用的各条定律，而这乃是猜测自然界的快捷方法之一。如果电荷是一种场的源，而重子荷在其他一些方面起着同样的作用，那它也应当是一种场的源。可惜的是，直到现在还看不出这一点，它是有可能的，但尽我们所知尚未能肯定。

还有一两道这样的计数式命题，例如轻子数等，但在观念上是与重子一样的。然而，有一条是稍微有点不同的。在自然界的这些奇怪粒子特征的反应率当中，有一些反应非常快而容易发生，而另外一些反应则非常慢而难于发生。我不是在实际上做实验的技术意义上说快和慢。它指的是当粒子出现时发生反应的概率。对于我在上面提到的两类反应，有一种清楚的区分，例如一对质子的衰变[21]，以及缓慢得多的λ衰变。结果表明，如果你限于快速而容易发生的反应，就会发现有另一条计数式的守恒律，计算的方法是λ取负1，K正取正1，而质子取作零。这个数叫作奇异数，或者叫作超子荷，并且它表现得在每一种快速反应中是守恒的，但在缓慢的反应中则不守恒。因而在我们的表（图14）上，我们必须加上一条叫作奇异数守恒或者超子数守恒的守恒定律，它是一条近似成立的定律。这是很特别的；我们由此看到了为什么要把这个量称为奇异数了。在守恒方面它是近似成立的，而在它以基本单元出现的方面则是严格成立的。在尝试了解包括核力在内的强相互作用时，在强相互作用中这个“荷”守恒的事实，使人们提出说它也是与强相互作用相关

的一种场的源，不过我们也不知道是否如此。我把这些事情向你们摆出来，是要向你们表明，怎么样能够用守恒律来猜想新的定律。

历史上曾经一次又一次地提出一些同样具有计数性质的其他守恒定律。例如，化学家们曾经以为，不管发生了什么事，钠原子的数目总是保持不变的。但钠原子不是永恒存在的。原子是有可能发生从一种元素到另一种元素嬗变的，结果使得原来的那种元素完全消失了。另一条一度被相信成立的定律，是一个物体的总质量总保持同样的数值。这就视乎你怎么样定义质量以及你怎么样处理质量同能量的关系了。质量守恒定律包含在我下面要讨论的能量守恒定律里。在所有的守恒定律中，能量的处理是最困难和抽象的，但也是最有用的。它比我至今向你们讲过的那些定律都更困难，因为在电荷以及其他的情况里，其机制是清楚的，或多或少都是某种物体的守恒。这次就绝对不是那种情况了，因为我们从旧的东西得出新的东西的方式是不同的，但它确实只是简单地计数那么一回事。

能量守恒更加困难一点，因为这一次我们有一个不随时间变化的数，但这个数不代表任何特定的东西。我想用一个简朴的类比来对它做一点说明。

我想要你设想一位母亲有一个孩子，这位母亲把孩子单独留在一间房间里，并且给了他28块绝对不可能毁坏的积木。那个孩子成天玩着那些积木，然后当母亲回来的时候，她发现房间里确实有28块积木；她就检查出，积木的数目是在所有时间里一直守恒的。这样过了几天，然后有一天，当她回来的时候只有27块积木了。然而，她发现在窗外有一块积木，那是小孩把它扔出去的。那么，你在评价守恒定律是否成立的时候，你必须盯住你要检验的那些东西不会越墙而去。同样的事情也会以其他的方式出现，如果有一个男孩来同这个孩子玩，并且带了一些积木进来的话。当你谈论守恒定律的时候，你显然要考虑到这些事情。假定

有一天，母亲回来数积木块的时候，发现只有25块了，但她疑心那个孩子把另外三块积木藏在一个小的玩具盒里面了。于是她说，“我要打开这个盒子。”而他说，“不，你不能打开盒子。”这位非常聪明的母亲会说，“我知道这个盒子空的时候重16盎司（1盎司=28.35千克，全书同），而每一块积木重3盎司，因而我要做的事是去称量这个盒子。”她把积木块的总数加起来，就会得出公式：

$$\text{No. of blocks seen} + \frac{\text{Weight of box} - 16\text{oz.}}{3\text{oz.}}$$

$$\text{看到积木块的数目} + \frac{\text{盒子的重量} - 16\text{盎司}}{3\text{盎司}}$$

结果重新得到28。这种做法在一段日子里是成功的，然后有一天检查出来的总数又不对头了。然而，她注意到污水槽的水平面升高了。她晓得当水槽里没有积木的时候其水深是6英寸，而在水中有一块积木的时候会升高1/4英寸，于是她在她的公式里再加上一项，现在她有了一道新的公式：

$$\text{No. of blocks seen} + \frac{\text{Weight of box} - 16\text{oz.}}{3\text{oz.}} + \frac{\text{Ht. of Water} - 6\text{in.}}{\frac{1}{4}\text{in.}}$$

$$\text{看到积木块的数目} + \frac{\text{盒子的重量} - 16\text{盎司}}{3\text{盎司}} + \frac{\text{水面高度} - 6\text{英寸}}{1/4\text{英寸}}$$

并且加起来的结果再次得到28。当那个孩子魔高一尺的时候，那位妈妈就道高一丈，在她的公式里添加更多的一项又一项，其中每一项都

代表的是积木块，但从数学的立场看那是一些抽象的运算，因为在后面那些项里并没有出现积木。

现在我做出我的类比，并且告诉你们在这个比喻和能量守恒之间，哪一些是共同的，哪一些是不同的。首先假定在一切的情况下你都没有看见过任何积木块。根本没有“看到积木块的数目”那一项。那么，那位母亲就总是在计算诸如“盒子里的积木”，“水槽里的积木”等许多项。对能量来说有一点差别，就我们所知而言，在能量的情况下根本没有什么一块一块的积木。而且，与积木的情况不同，对能量来说那些数值并不是以整数出现的。我要假定那位可怜的母亲也许会计算出有一项的结果是6（1/8）块积木，算出另一项的结果是7/8块，还有一项是21块，加起来仍然是28。那就是能量的数值看起来的样子。

我们关于能量已经发现了的是，我们有了由一系列规则构成的一个方案。从每一组不同的规则，我们能够为每一不同种类的能量计算出一个数值。当我们把来自所有不同形式的能量的这些数统统加起来，它总是给出同样的总数。但至今我们不知道能量有什么真实的基本单元，不知道有什么作为能量基元的微小滚珠。它是抽象的，纯粹数学化的，有这样的一个数，无论什么时候你计算它，它都是不改变的。我不能够把它解释得比这更明白了。

能量具有各种类型的不同形式，就像上面说的盒子里的积木，水槽里的积木等一样。有由运动产生的叫作动能的能量，由引力作用产生的能量（它被称为引力势能），热能，电能，光能，在弹簧等物体中的弹性势能，化学能，核能等，还有一种一颗粒子仅仅由于其存在就具有的能量，一种直接取决于其质量的能量。这最后一种能量是爱因斯坦的贡献，你们肯定都知道。$E=mc^2$就是我正在谈论的定律的著名方程。

虽然我已经提到了许多形式的能量，我还想要说明一下，我们并不是对能量完全无知，我们确实了解到其中一些能量形式同其他能量形式

的关系。例如，我们叫作热能的，在很大的程度上不过是物体内部的各个粒子的动能。弹性势能和化学能具有同一来源，它们都来源于原子间的作用力。当那些原子以一种新的方式重新安排它们的状态时，就有一些能量改变了；如果那个量改变了，就意味着某个其他的量亦发生了改变。例如，如果你烧掉什么东西，化学能就改变了，然后你就会发现在你原来不觉得热的地方发热了，因为所有的能量都要加起来保持守恒。弹性势能和化学能都是原子之间的相互作用，而我们现在知道这些相互作用是两种东西的结合，其一是电能，而其二又是动能，不过这一回它要采用量子力学的公式了。光能只不过是电磁能的一种形式，因为现在已经把光解释为一种电磁波。核能不能够用其他的能量表示；眼下除了说它是核力的结果之外，我不能够再说什么。我在这里还没有谈到能量的释放。在铀核里有相当数量的能量，当它蜕变的时候那部分能量仍然存在于核变化的产物中，但世界上的总能量是不变的，因此在那种过程中产生了大量的热和其他东西，以保持能量的平衡。

这条守恒定律在许多技术领域里是很有用的。我将给你举一些非常简单的例子，以表明我们掌握了能量守恒定律和计算能量的公式，就能够怎么样理解其他一些定律。换言之，许多其他的定律不是互相独立的，而只是以某种隐蔽的方式去表达能量的守恒。最简单的例子是杠杆定律（图16）。

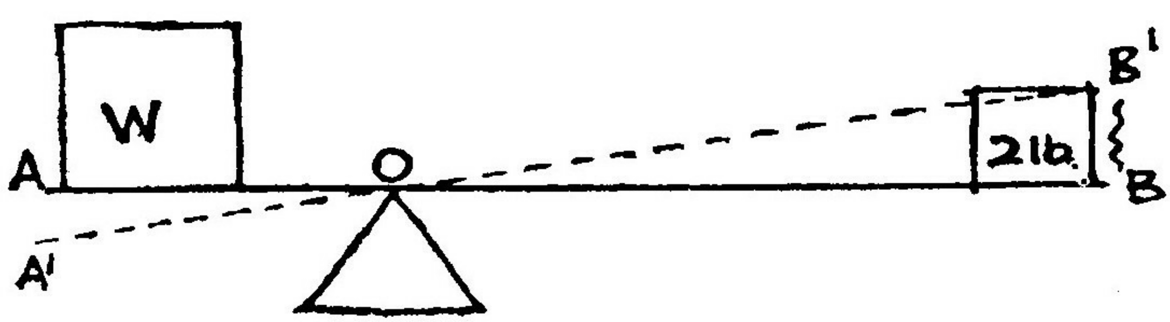


图16

我们有一根架在一个枢轴上的杠杆。它的一臂的长度是1英尺，另一臂长4英尺。首先我们必须给出引力能的定律，在现在的情况下它就是重力势能；如果你有几个重物，你把每一个物体的重量乘以它离地面的高度，然后对所有重物加起来，那就给出了重力势能的总量。假定我在长臂上有一个2磅（1磅=0.45千克，全书同）的重物，而有一个未知的神秘重物在另一臂上——人们总是用X来代表未知数，因而让我们叫它作W，以显得与众不同！现在的问题是，W必须要有多重才会使得它正好达到平衡，从而了无阻碍地轻轻来回摇摆呢？如果它轻轻地来回摇摆，那就意味着能量同杠杆平衡得平行于地面时，或者倾斜得使那个2磅的重物离地面翘起，比方说1英寸时是一样的。如果能量相同，那它就随便处在什么位置上也是一样的，并且也不会翻倒。如果2磅的重物向上翘起了1英寸，那么重物W会下坠多少呢？从图中你可以见到（图16）[22]，如果AO长1英尺，OB长4英尺，那么当BB′为1英寸时，AA′将会是1/4英寸。现在运用重力势能的定律。在发生任何事情之前，两边重物的高度都是零，因而总能量是零。为了算出在发生了移动之后的引力势能，我们把2磅的重量乘以1英寸的高度，再把它加上未知的重物W乘以它的高度（-1/4英寸）。所得的和数必定与先前一样——能量为零。因而有：

$$2-\frac{W}{4}=0\text{, so } W \text{ must be } 8$$

（因而W必定是8）

这是我们用来理解那条浅显的定律的一种方式，你当然早就知道那条杠杆定律了。但有趣的是，不仅这条定律，而且有成百条其他物理学

定律都能够紧密地同能量的各种形式相联系。我向你们讲到这个例子，仅仅是为了显示出能量守恒是多么的有用。

当然，唯一的困难是，因为在杠杆的支点处存在着摩擦，所以这条定律实际上并不真的那么准确。如果我们有某个物体在运动，譬如说有一个球沿着一条恒定高度的路径滚动，那么它就会由于摩擦而停下来。球的动能到哪里去了？答案是球运动的能量转移为地板上和球的表面上的原子来回摇晃所需的能量。我们在一个大尺度上的世界上，看到的好像是一个磨光了的漂亮圆球，但实际上在一个小尺度上看起来，它是十分复杂的；有千千万万个微小的原子，具有各种各样的形状。当足够细致地观察时，它就像一块非常粗糙的卵石，因为它是由这些小球组成的。地板也一样，它是由许多小球组成的一种坑坑洼洼的东西。当你在放大了的地板上滚动这个庞大的卵石时，你能够看到那些微小的原子被不断地推来挤去地摇晃。当那个大家伙滚过去之后，那些留在后面的原子由于受到过推挤而仍然在轻微摆动；因而在地板上遗留着一种摇晃的运动，或者说是热能。初看起来似乎是守恒定律不再成立，但能量有一种躲藏着我们的趋势，使得我们需要温度计和别的仪器来确定它依然在那里。我们发现，不论过程多么复杂，能量都是守恒的，即使我们还不清楚其中的具体定律。

能量守恒定律的第一次演示，不是由一名物理学家，而是由一名医学家做的。他是用小老鼠做这种演示的。如果你点火把食物烧掉，你能够测定出产生了多少热量。然后如果你把同一数量的食物喂给小鼠吃，食物中的碳就结合空气中的氧变成二氧化碳，同燃烧的过程是一样的。当你测定了这两种情况中的能量产出，你就会发现生物和非生物做的都是完全一样的事情。能量守恒定律在生命现象同在其他现象里一样是成立的。顺便说说，有趣的是，我们从无生命现象中了解到的每一条定律或者原理，都可以放到伟大的生命现象上去测试，结果证明都是很好成立的。虽然生物比非生物复杂得多，但就我们从非生命界求得的物理学

定律而言，还没有什么证据表明其必定不能够用到生物界中去。

在食物中的能量的数量，会告诉你它能产生多少热和机械功等等的数量，它是以卡路里来量度的。当你听到卡路里的时候，并不是说你吃下了叫作卡路里的什么东西，它只是在食物里所含的热能数量的量度。物理学家们有时候觉得高人一头而沾沾自喜，而其他人则总想在某些方面抓住他们的把柄。我会给你们一样东西让他们出丑。他们应当为他们在能量的量度上使用了这么多的不同方式和不同名称而感到十分羞愧。你看有多可笑，能量的单位可以取卡路里、尔格、电子伏特、尺磅、BTU（英国热量单位）、马力小时、千瓦小时，等等，它们量度的完全是同一样东西。那就正如我们有美元、英镑等不同的货币一样；但与经济领域不同的是，货币的汇率是可以变化的，而这些呆板的东西之间的比率是有绝对保证的。如果有什么真正相似的话，它就像英国币制里的先令和英镑——总是20先令兑一英镑。但物理学家容许有一种复杂性，不是用像20那样的一个数，而是用像1.6183178……那样的一个无理数，来作为先令对英镑的比率。你也许会设想，至少最现代的高级理论物理学家们该会使用一种公共的单位了吧，但你翻翻文章就可以看到，有用开尔文来量度能量的，还有用兆周以及现在用反费米那样的最新发明[23]的。如果想要得到物理学家也是凡人的证据的话，那么物理学家使用那么多的不同单位来量度能量这种愚蠢的行为，就是一个明证。

在自然界有好些有趣的现象，向我们展示了关于能量的一些稀奇古怪的问题。新近发现了一种叫作类星体的东西，它们离我们非常远，并且以光和无线电波的形式辐射出那么多的能量，我们不禁要问，它从哪里得来这些能量呢？如果能量守恒是对的话，类星体辐射出了如此巨额的能量之后，它的状况必定与辐射之前不同。问题是，那些能量是来自引力能吗——是不是那个东西在一种不同的引力条件之下，发生了引力坍缩？谁也不知道。你也许会提出说，能量守恒定律是不对的。好了，当一样东西像类星体那样还没有被研究透彻（类星体遥远到天文学家不

容易观察它们），那么如果这样一个东西似乎同一些基本定律抵触的话，极不可能的是那些基本定律错了，通常正是由于对那些东西的细节还不清楚的缘故。

另一个关于能量守恒定律的应用的有趣例子是一颗中子蜕变为一颗质子、一颗电子和一颗反中微子的反应。起先人们设想的是一颗中子转变为一颗质子加上一颗电子。但衰变前后所有粒子的能量都是可以测量的，而一颗质子和一颗电子的能量加起来达不到中子的能量。存在着两种可能性。可能是能量守恒定律不成立了；事实上玻尔[24]一度提出，或许能量守恒定律只是在统计意义上成立，即只对平均值成立。但后来的结果表明，另一种可能性才是对的，能量收支不平衡是因为有一样别的什么东西跑掉了，那就是我们现在称为一颗反中微子的东西。反中微子把能量带走了。你会说，反中微子不过是为了保持能量守恒而设想出来的东西。但它还使得其他许多事情正确无误，例如动量守恒定律和其他一些守恒定律，并且新近已经直接证实了，这样的中微子是确实存在的。

这个例子说明了一点，我们怎么样有可能把我们的定律推广到我们尚未清楚明白的领域呢？为什么因为我们在这里检查过能量守恒是对的，我们就总是那么有信心在遇到一种新的现象时能够说要满足能量守恒定律呢？每每你会偶尔在文章里读到，物理学家发现了他们所喜爱的定律之一是错误的，那么把一条定律的正确性推广到你还没有来得及看清楚的领域，是不是犯了错误呢？如果你永远也不说一条定律在你还没有看清楚的领域是对的，那你就不会知道什么新的东西。如果你发现的那些定律仅仅是在你已经完成观察的领域之内，那么你永远也不能做出新的预言。而科学的唯一用处，就是在不断进步的过程中尝试做出新的猜想。因而我们总要去做的事，乃是不顾一切往前进。至于说到能量，最可能的事情就是它在别的地方也是守恒的。

当然这意味着科学不总是确定的；当你对一个你未曾直接体验过的领域提出主张的时候，你必定是不确定的。但是我们总是必须对我们还没有仔细考察过的领域提出设想，不然整个事情就一筹莫展了。例如，一个物体的质量在它运动的时候发生变化，这是因为能量守恒的缘故。由于质量与能量的关系，和运动相联系的那部分能量表现得像一份额外的质量，因而物体在它们运动时就会变重。牛顿相信的不是这种情况，他相信物体的质量是保持恒定不变的。当发现了牛顿的观念错了的时候，每一个人都禁不住说物理学家发现了他们过去错了，这是多么可怕的一件事啊。为什么那些物理学家过去以为他们是对的呢？新发现的修正效应一般是很小的，并且只在你接近光速时才表现出来。如果你转动一只陀螺，它的重量与你没有转动它的时候是一样的，其差别是非常非常小而觉察不到的。那么他们是否应当说，“如果你运动得不那么快，如此等等，那么质量不就没有变化了吗？”那样看来就是如此了。不，因为如果做过了的实验，只限于用木制的、铜制的和钢制的陀螺，那么他们本来应当说的是，“木制的、铜制的和钢制的陀螺，当它们的运动不比什么什么快的时候会怎么样怎么样……”你看，我们不知道在一个实验里我们所需要知道的所有条件，并不知道一个辐射性的陀螺是否具有一种守恒的质量。因而，我们为了发挥科学的一点点用处，就要提出猜想。为了避免简单地描述已经做过的那些实验，我们要在它们观察到的范围之外提出定律。这样做一点也没有错，尽管那样做事实上会使得科学变得不确定。如果你先前想象科学是完全确定的，噢，那只是你那方面的一个失误。

话说回来，在我们关于守恒定律的表中（图14），我们要加上能量。就我们所知，它是绝对守恒的。它不是以基本单元出现的。现在的问题是，它是不是一种场的源？答案是肯定的。爱因斯坦了解到引力是由质量产生的。能量和质量是等效的，因而牛顿关于质量是产生引力的源的解释，已经被修改为能量产生引力这一陈述。

还有其他一些类似于能量守恒的定律，这是在它们都是一些数量的意义上说的。其中之一是动量。如果你取一件物体的所有质量，各自乘以它们的速度，再把这些乘积加在一起，得到的总数就是这些粒子的动量；而动量的总量是守恒的。现在了解到能量和动量关系非常密切，所以我把它们放在我们的表上的同一行里。

守恒量的另一个例子是角动量，我们已经在前面讨论过这个量了。角动量是物体运动时每秒扫过的面积。例如，如果我们有一个运动着的物体，并且我们取不论在什么地点的一个中心，那么将从中心连到物体的一条直线扫过面积（图17）不断增加的速率，乘以物体的质量，再对所有物体加起来就叫作角动量。而这个量是不变化的。

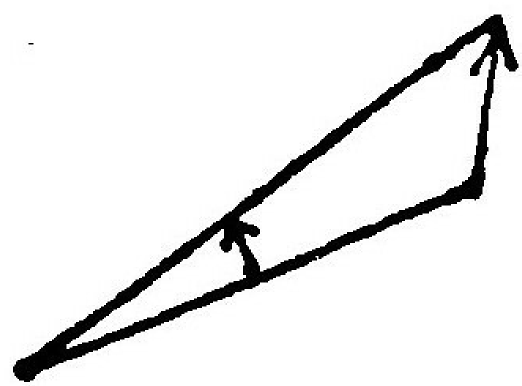


图17

如果你知晓了很多物理学，初看起来你也许会认为角动量是不守恒的。像能量一样，它是以一些不同的形式出现的。虽然大多数人以为它仅仅出现在运动中，但它确实也以其他一些形式出现，我下面来说明这一点。如果你有一根平放着的环形导线，把一条磁铁自下而上地插进去，那么当磁场增加的时候，穿过导线的磁通量随着增加，导线上就会有电流通过——这就是发电机工作的原理。现在设想我们有的不是一条

导线而是一个金属圆盘，而金属内部也像导线里面的电子一样有许多电荷（图18）。

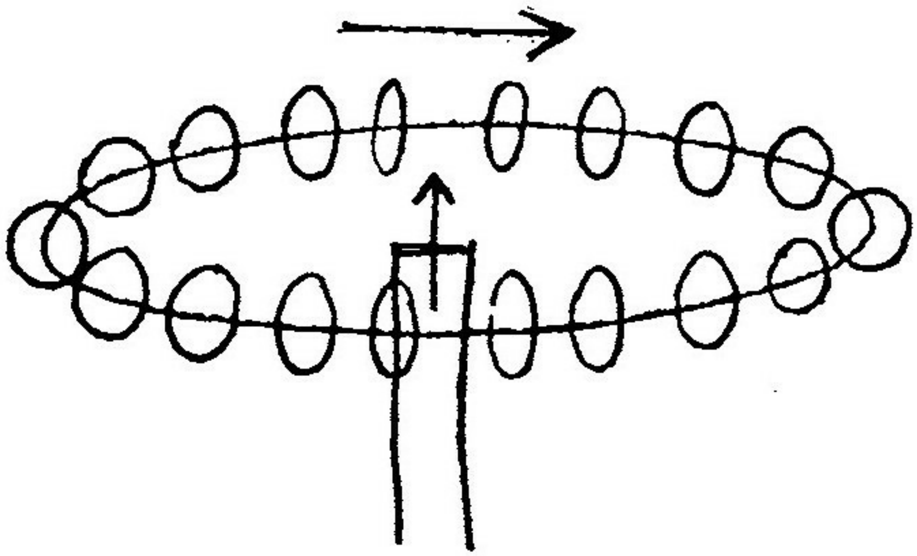


图18

现在我们拿着一条磁铁从远处沿着圆盘的轴线，对准它的中心快速地自下而上地捅过去，因而现在就有磁通量的变化了。那么，像在导线中的情况一样，电荷开始在圆盘里做环状流动，而且如果圆盘是架在一个转轮上的话，在我插进磁铁的时候它就会自转起来。那看起来不像是角动量守恒，因为当磁铁起初离圆盘很远的时候，没有什么东西在转动，而当它们接近到一起的时候圆盘就发生了自转。我们不曾去转动过什么东西，因此这是违反角动量守恒法则的。你会说，“噢，是的，我知道，必定有某种相互作用使磁铁按相反的方向自转。”事实并非如此。磁铁没有受到使它倾向于朝相反方向拧转的电力。这里的解释是，角动量是以两种形式出现的：一种是运动的角动量，另一种是电场和磁场中的角动量。在磁铁周围的磁场中有角动量，虽然它并不表现为运动，它的符号是同圆盘自转的角动量相反的。如果我们显示那相反的情况就更清楚了（图19）。

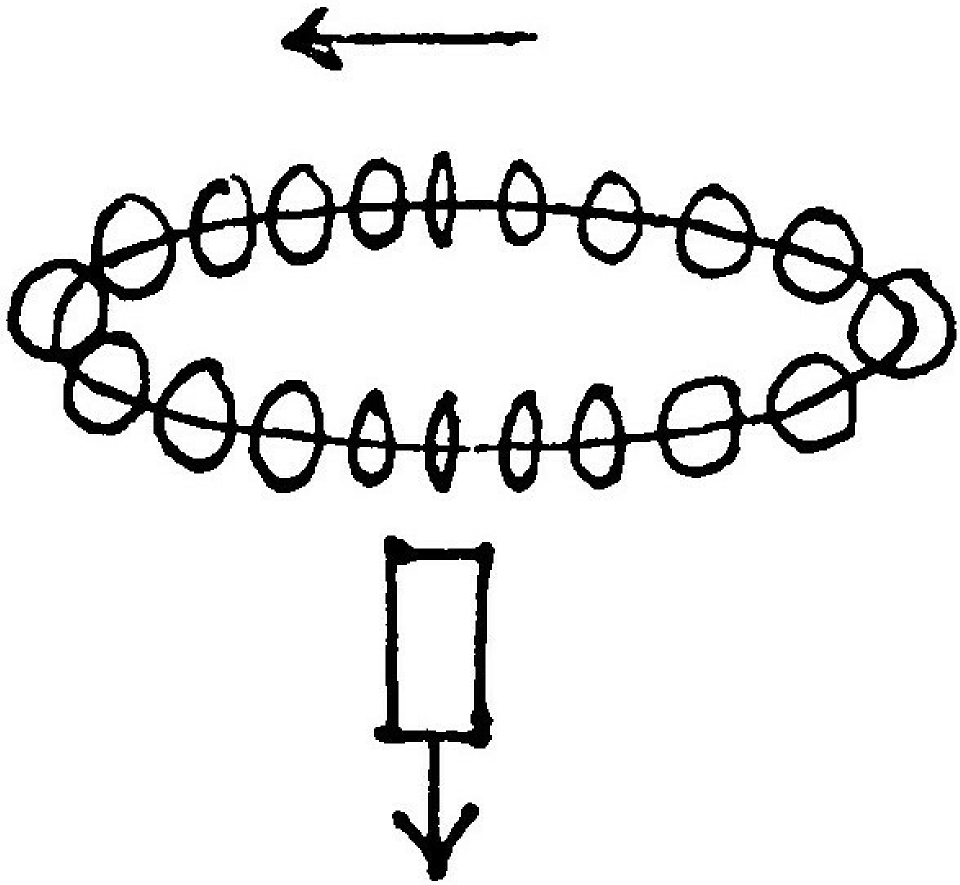


图19

如果我们正好有刚才那些粒子，和那条磁铁靠在一起，而所有东西都静止不动。我说在磁场里面有角动量，那是角动量的一种隐藏形式，并不表现为真实的运动。当你把磁铁往下拉，使它同圆盘分开，那么所有的场都分开了，场里面的角动量就表现出来了，而圆盘就开始自转。使得圆盘自转起来的定律就是电磁感应定律。

角动量是否以基本单元出现的问题，我很难回答。初看起来似乎角动量是绝对不可能以基本单元出现的，因为角动量依赖于你投影图像的那个方向。你注视的是一种面积的变化，它明显依赖于你是正视还是从某种角度斜着来观看，不同的角度会产生不同的结果。如果角动量以基本单元出现，比方说你注视着什么东西，它显示出8个单位，然后如果

你从一个稍微不同的角度观看，那单位的数目就会稍微有所不同，也许比8小一点点。而7并不比8小一点点；它比8小可观的一截。因而角动量是不可能以基本单元出现的。然而在量子力学里，这一证明的困难被一种微妙和独特的性质避开了，结果当我们测量对任意轴的角动量时，令人吃惊不已的是它总是一种基本单元的倍数。它不是像电荷那样可以计数的那一类单位。角动量确实在数学意义上是以基本单元出现的，我们在任意测量里得到的数值总是一个确定的整数乘上一个单位。但我们不能够以对电荷的单位适用的同样方式来解释这件事，在这里没有那些我们可以1、2、3……计数的想象的单位。在角动量的情况，我们不能够想象它们是一些分离的单元，但它总是以一个整数出现……真是非常特别。

还有其他一些守恒定律。它们不像我已经描述过的那些守恒律那么有趣，并且处理的也不完全是数目的守恒。假设我们有某种装置，其中有一些粒子按某种确定的对称式样在运动着，并且假定它们的运动是左右对称的（图20）。那么，依照物理学的定律，无论它们怎样运动和碰撞，你能正确地期望，如果晚些时候你观察那些粒子摆出的花样，它仍然会是左右对称的。因而这里有一种守恒，即对称性质的守恒。这也应当列到图14的表里去，但它不像你测量的一个数，我们将在下一讲更加详细地讨论这个问题。在经典物理学里，对这个问题不是很有兴趣的原因，是由于出现这样漂亮的对称化初始条件的机会实在是太罕见了，因而它就不算作一条非常重要的或者有重大实际意义的守恒定律。但在量子力学里，当我们处理像原子那样非常简单的系统的时候，它们的内部组分常常具有某种像左右对称性之类的对称性，并且那种对称性也会一直保持下去。因此，这是了解量子现象的一条重要定律。

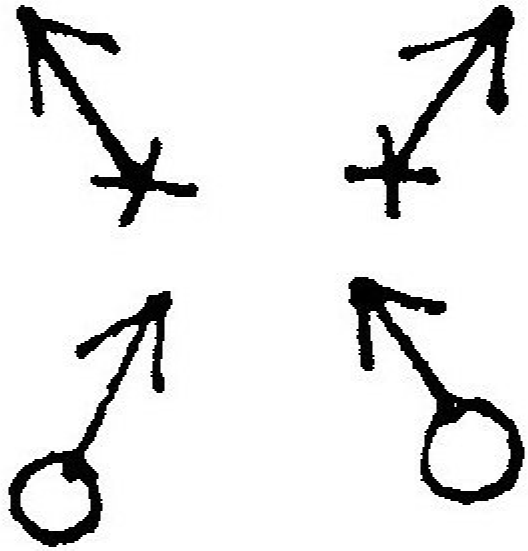


图20

一个有趣的问题是，这些守恒定律是不是建筑在一种更深层次的基础之上，或者我们是不是知道它们看起来是什么样子就够了。我将会在下一章讨论这个问题，但有一点是我想要在这里提到的。在普及的水平上来讨论这些概念的时候，看来似乎有一大堆互不相关的概念；但对各种原理达到一种透彻的理解，就会看出各个概念之间深刻的相互联系，每一个概念都以某种方式同其他概念相关联。这样的一个例子是相对论同定域守恒的必然性之间的关系。这指的是，如果你不能够说出你运动的速度有多快，就意味着如果有什么东西是守恒的话，它必定不会是从一处跳跃到另一处的。假若我只是叙述了这一种联系而未加证明，那么它就会变得是某种奇迹似的了。

在这里我想要指出的是，角动量守恒、动量守恒，以及几样其他东西，都是在某种程度上有关联的。角动量守恒是同粒子在运动中扫过的面积相关的。如果你有一大堆粒子（图21），并且把你的参考中心（x）取得很远，那么从中心到每一个粒子的距离都差不了多少。在这

种情况下，涉及扫过的面积，或者说涉及角动量守恒的，只有一样东西，那就是动量的一个分量，即在图21中沿垂直方向的那些分量。那么，我们发现的是每个质量乘以其速度的垂直分量再统统加起来的总量必定是一个常数，因为对任何参考点的角动量是一个常数，并且如果所选择的参考点是足够远的话，就只有质量和速度是有意义的。角动量守恒就以这样的方式意味着动量的守恒。这又意味着别的什么东西，它同另外一样东西的守恒是那么密切地联系在一起，使得我以为不必把它放到图14的表上。这是关于重心的一条原理（图22）。



图21

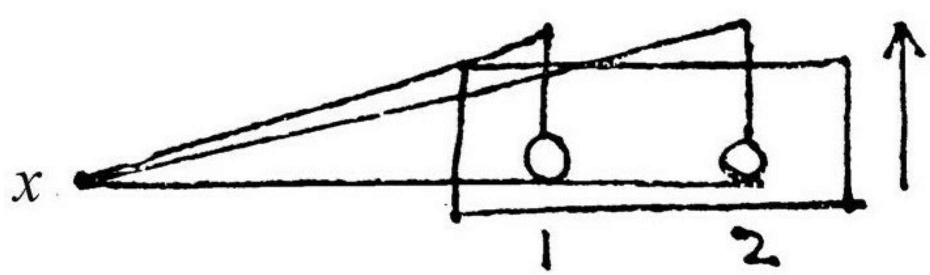


图22

有一块质量关在一个盒子里，它完全不能靠它自己从一个位置消失而跑到另一个位置去。这并不违反质量守恒；你仍然有那块质量，只不过由一个位置运动到另一个位置去了。电荷可以那样，而质量是不可以

的。让我们解释为什么。物理学的定律是不会受到运动速度的影响的，因此我们可以假定这个盒子缓慢地向上升起。现在我们对一个不那么远的点x来计算角动量。当盒子向上升时，如果那块质量躺在盒子里的位置1上不动，它就会以一个给定的速率扫过面积。当那块质量已经运动到位置2上，它就会以一个较大的速率扫过面积，因为虽然由于盒子依然在向上升而图上的三角形的高不改变，但从x到那块质量的距离已经增加了。由于角动量守恒，你不能够变动面积变化的速率，因而你就不能够简单地把一块质量从一个位置移动到另一个位置上去，除非你推动别的什么东西以平衡角动量的变化。这就是为什么火箭在虚空中不能够前进……而火箭又确实能够前进的原因。如果你设想有一大堆质量，那么如果你把一块质量推向前进，你必定把别的质量往后推了，使得所有质量向前和向后的总动量等于零。这就是火箭工作的原理。比方说开始的时候它是在虚空中静止的，然后它向后方喷出一些气体，而火箭就向前进了。这里的要点是，世界上所有东西的质量中心，亦即所有质量的平均位置，仍然保持它先前的所在。对我们有用的那一部分向前进了，而我们不再关心的那一没有用部分则被抛离到后面了。没有一条定理说，世界上对我们所有用的那些东西是守恒的，守恒的只是每一样东西的总量。

物理学定律的发现，好像要把一些碎块拼接成一幅图画的一场拼图游戏。我们掌握了所有这些不同的碎块，而且今天这些碎块的数目迅速地与日俱增。其中许多碎块到处散落，互相之间衔接不起来。我们怎么知道它们能够拼凑起来呢？我们怎么知道它们真的是一幅尚未完成的图画中的各个碎块呢？我们不能肯定这一点，这个问题诚然困扰着我们，但我们看到了有些碎块的共同特征，从而鼓起了我们的勇气。例如：这些碎块都显现出蓝天白云，都是由某种木质材料做成的。所有不同的物理学定律都遵从着同样的守恒定律。

第4章
物理定律中的对称性

人类的头脑似乎特别着迷于对称性。我们喜欢观赏自然界中的对称花样，例如像太阳和行星那样完全对称的球体，或者像雪花那样的结晶体，或者接近于对称的花朵。然而我要在这里讨论的不是自然界中各种物件的对称性，而是物理学定律本身的对称性。很容易看出一件物体有怎么样的对称性，但一条物理定律怎么能够有一种对称性呢？当然它是不能够的，但物理学家们自己喜欢用一些普通的词语来描述别的什么东西。这一回他们对于物理定律有一种感觉，非常接近于对物体对称性的那种感觉，于是他们就称呼那是物理学定律的对称性。那就是我想要讨论的东西。

什么是对称？如果你看着我，就可以看到我是左右对称的——至少在外表上看来如此。一个花瓶可以有这样或者那样的对称性。你怎样定义它呢？我是左右对称这一事实意味着，如果你把在一边的每一件东西放到另一边去，而那一边的东西则放到这一边来，就是说你只是把左右两边交换，那么我看起来应当是完全一样的。一个正方形有一种特别的对称性，因为如果我把它转过90°，它看起来仍然完全是一样的。数学家外尔教授[25]给出了对称性的一个极好的定义，意思是如果有一件东西，你有可能对它做某种操作，使得你完成了操作之后，它看起来同以前是一样的，那么那件东西就是对称的。这就是我们说物理学定律是对称的意思；我们有可能对物理学定律或者对物理学定律的表达方式做某种操作，而不引起任何差别，并且定律的任何效果也保持不改变。在这次讲演中我们要谈论的正是物理学定律这一方面的性质。

这一类对称性的最简单例子是一种叫作在空间中迁移的对称性，即空间平移对称性[26]。你将会看到，它不再是你原来对左右对称或者类似的对称性所想象的那个样子。现在的对称性有如下的意义：如果装设了任何一套仪器设备，或者对某种东西做了任何一种实验，然后不是在那里而是在这里装设另一套同样的仪器设备，来对同样的东西做同样的实验，差别仅在于从空间中的一个地方迁移到另一个地方去，那么在搬动了的实验里将会发生在原来的那一实验里本来会发生的同样事情。实际上这样说是不完全对的。如果我真的装设了这样一套仪器设备，然后把它从我现在的位置往左边移动20英尺，那么它就会碰到墙壁，因而产生许多麻烦了。在定义这一观念的时候，必须把会影响到实验状况的每一样东西都考虑在内。那么你在移动一样东西的时候，牵涉到的每一样东西都要跟着迁移。例如，如果设备系统里包括有一具单摆，并且我把这套系统向右移动20000英里的话，它就不再会完全像原来那样运作了，这是因为单摆的运动牵涉到地球的吸引的缘故。然而，如果我设想把地球连同设备一起迁移，那么实验就会以同样的方式进行了。在这种情况下，问题在于你必须把会产生任何影响的每一件东西都一起搬过去。那听起来有点像废话，因为它听起来似乎你是能够移动一套实验设备的，并且假若它工作不正常的话，你也能够只归因于你没有把足够多的东西一起搬过去，这样你就立于不败之地了。而关于自然界的一件值得注意的事情，乃是有可能搬动足够多的东西使得实验以同样的方式进行。那是一种正面的陈述。

我想说明这样的一件事是真实的。让我以引力定律作为一个例子，它说的是物体之间的引力与两者之间的距离的平方成反比；并且我提醒你，一个物体对力的响应是在力的方向上随时间而改变它的速度。如果我们有两个物体，譬如一颗行星环绕着太阳运行，而我把这一对物体作为整体移动到别处，那么两者之间的距离当然没有改变，因而力也没有改变。而且，在它们移动了的情况下，它们会以同样的速度运行，并且所有的变化都保持相同的比例，在这两个系统里的每一样东西都以相同

的方式进行。定律里面说“两者之间的距离”而不是说与宇宙中心点的某种绝对距离，就意味着定律是可以在空间中迁移的。

好了，那是第一种对称性——空间中的迁移。下一个可以叫作时间上的迁移，但是，我们最好是说时间上的延迟不会造成任何差别。我们让一颗行星在某一个方向上开始环绕着太阳运行；假如我们能够在两小时之后，或者在两年之后在另一个起始点上一切从头再来，而行星和太阳就会以完全一样的方式运行，因为引力定律谈到的也是速度，而绝不是你们假设用来开始测量事物的绝对时间。事实上，在这个特殊的例子里，我们讲得不完全对。当我们讨论引力时，我们谈论过引力随时间变化的可能性。这就会意味着时间上的迁移不是一个有效的主张，因为如果引力常数从10亿年之后开始会变得比现在弱，那么我们那个实验的太阳和地球的系统，在离现在10亿年之后就不会真的如同现在那样运动。就我们今天所知而言（我只能按照我们今天所了解的来讨论那些定律——但愿我能够按照我们明天将会了解的来讨论那些定律！），时间上延迟不会导致差别。

我们知道一方面这不是完全对的。它在我们现在称为物理学定律的意义上是对的；但在这个世界上有一件事实是，如果宇宙有一个确定的起始时间的话，那时候一切东西就都会在爆炸中分离开来，这个世界就会大不相同了。你也许会把那叫作一种地理条件，就像当我在空间中迁移的时候我必须把一切东西都随着带走的情况一样。在同样的意义上，你也许会说定律在不同的时间都是相同的，只要我们使每一样别的东西都随着宇宙而膨胀。我们还可以对宇宙在晚些时候启动的另一种情况做出分析；但我们并不能使宇宙启动，我们不能够控制那种情况，并且没有办法在实验上定义有关的概念。因而只要谈到科学，我们就真的没有办法说出什么来。事情的真相是，世界的各样条件看来是随着时间而变化的，各个星系正在互相远离之中，因而在某部科幻小说中，假如你在某一未知的时间醒来，你就可以通过测定星系之间的平均距离来得知你

处在什么时间。那意味着如果时间延迟了的话，世界看来会大不相同。

今天我们通常把物理学各定律同世界实际上是怎样开始的陈述分割开来。物理学定律告诉我们的是，如果你在一种给定的条件下启动，那些东西将会怎么样运动；而我们对世界的起始则所知甚少。一般认为天文学的历史或者宇宙的历史与物理学定律稍有不同。而如果你要考一考我怎么样去定义其间的差别，我就免不了被不停地追问。物理学定律的最佳本性是它的普适性，即普遍适用的特性。如果有任何东西是普适的，那么所有星系的膨胀就是其中之一。因而我没有办法定义那种差别。然而，如果我只局限于我自己而不顾宇宙的起源，仅仅采用那些已知的物理学定律，那么在时间上的延迟不会造成任何差别。

让我们再看看别的一些对称性定律的例子。其中之一是空间中的转动，一种对于固定点的转动。如果我用装设在某个位置的一件仪器来做某些实验，然后再拿另一件完全相同的仪器（可能先要迁移一下，免得挡住了别的东西），但经过转动使它的所有轴线都改变了方向，它也会以同样的方式工作。这一次我们也要把相关的每一件东西都跟着转动。如果那一件东西是一具古老的摆式时钟，并且你把它水平放置，那么钟摆就会只躺在钟盒的壁上不动了。但假如你把地球也转过来（地球在什么时候都是在转动的），摆钟依然会继续运动。

转动的这种可能性的数学描述是相当有趣的，为了描述在一种情况中发生了什么事，我们用一些数来表示一件东西在什么地方。它们称为一个点的坐标，而我有时候用三个数来描写这一点离某一平面有多高，它在前面有多远，或者在后面则以负数表示，以及它在左边有多远。在现在这种情况下我不必顾及上和下，因为讲到转动时我只用到这三个坐标中的两个。让我们称在我前面的距离为x，在我左边的距离为y。那么我就可以通过告诉任何物体在前面有多远和在左边有多远而为它定位。来自纽约市的人都知道，那里的一些街道是按照一种简便的方法，即用

数字来命名的——或者说直到他们开始为第六大街改名字之前就是那样做的！关于转动的数学概念是这样的：如果我像我刚才所描述的那样，通过给出一个点的x和y坐标和别的什么东西来给它定位；而面朝不同方向的另一个什么人，也以同一方式，去为同一个点定位，但他计算的是相对于他自己位置的坐标x′和y′，那么他就可以看到，我的x坐标是由另外那个人计算出来的两个坐标的一种混合。两种坐标的变换关系是，x变成x′和y′的混合，而y变成y′和x′的混合。自然界的定律应当是这样写成的，如果你算出了这样的一种坐标混合，再把它重新代入方程里，那么那些方程将不会改变它们的形式。这就是对称性以数学形式表示的方式。你用某些字母写出方程，然后有一种方法把字母从x和y变换到一个不同的x，即x′，以及一个不同的y，即y′，你得到的方程看起来与原来的用x和y表示的方程是一样的，差别仅在于原来没有撇的坐标都加上了撇。这正意味着另一个人在他的仪器里看到的情况将与我在我自己的仪器里所看到的相同，而他的仪器是已经转过了一个角度的。

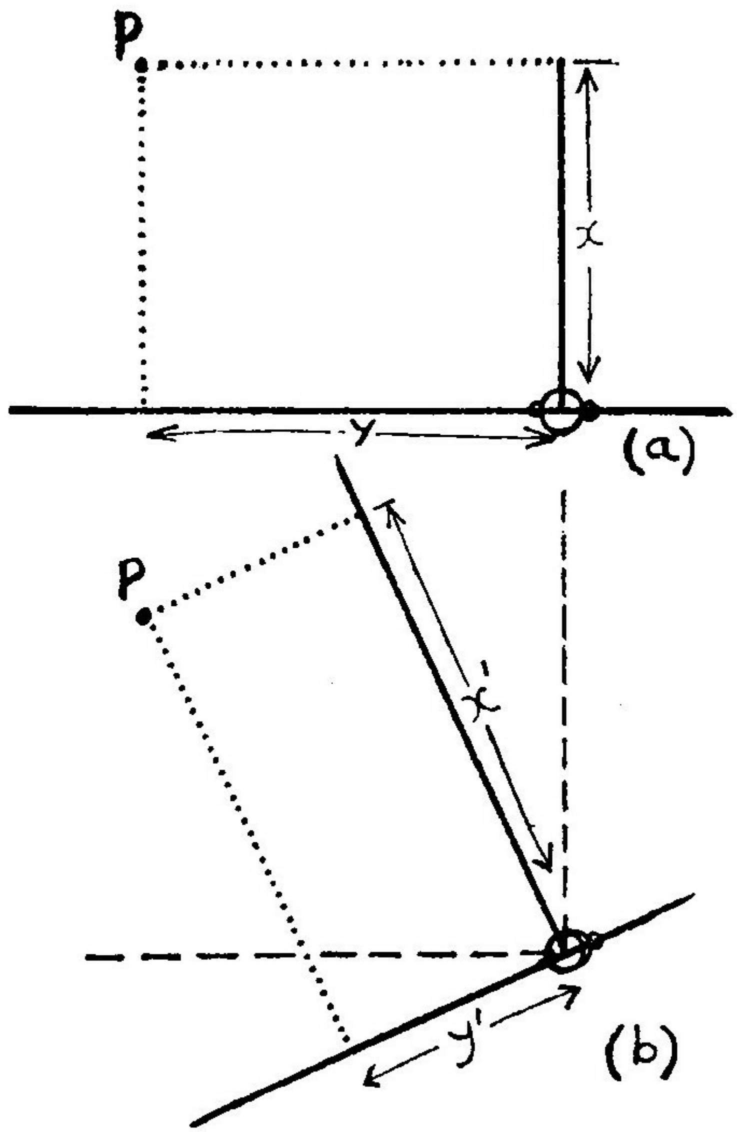


图23

（a）点P相对于我的关系是用两个数x和y来描写的；x表示P在前面离我有多远，y表示在左边离我有多远。

（b）如果我在同一个地点上而只是转过了身，同一个点P是用两个新的数x′和y′来描写的。

我将要给出另一个非常有趣的关于对称性定律的例子。这是以均匀

的速度沿着一条直线运动的问题。我们相信沿着一条直线做匀速运动时，物理学定律是不改变的，这叫作相对性原理。如果我们有一艘宇宙飞船，在它里面我们有一台仪器在做着什么事情，而且我们有另一台相同的仪器装设在地面上，如果宇宙飞船以均匀的速度运动，里面有一个人守候着他的仪器，那么他在仪器里面能够看得到的情况同在地面上静止不动的我在我的仪器上能够看得到的情况没有什么不同。当然，如果他朝外看，或者如果他碰到了飞船的外壁，或者发生了类似的情况，那就是另一回事了；但只要他以均匀的速度沿着直线运动，他所看到的物理学定律同我是一样的。因为事实就是这样的，我不能够说哪一个在运动。

在我们做进一步的讨论之前，我必须在这里强调，在所有的这些变换里，以及在所有这些对称性里，我们并不是在谈论搬动整个宇宙。就时间而言，如果我设想我变动了整个宇宙中的时间，那我等于什么也没有说。因而如果我说把整个宇宙的每一样东西在空间中搬动，它会以同样的方式运动的话，这一陈述也是空话。重要的是，如果我把一件仪器搬走，然后我确保满足一系列的条件，以及包括有足够多的仪器，我就能够划出世界的一部分，使它相对于其余所有恒星的质量中心做运动，这样做仍然不会产生任何差别。在相对论的情况下，它的意思是如果有人相对于星云其余部分的质量中心，以均匀的速度沿着一条直线依靠惯性滑行，他将看不到有什么不同。换句话说，如果不往外看的话，从在一辆车的车厢里做的实验的任何效应，都不可能确定你是否相对于所有恒星在运动着。

这一命题最早包含在牛顿的陈述里。让我们看看他的引力定律。这条定律说的是，力同距离的平方成反比，并且力的作用产生速度的变化。现在假定我算出了当一颗行星环绕一个固定的太阳运行时会发生什么事，而现在我又想要算出当一颗行星环绕一个移动着的太阳运行时会发生什么事。那么我在第一种情况下的所有速度的值都是与第二种情况

不同的；在第二种情况下我要加上一个恒定的速度。但牛顿的定律说的是速度的变化，因此实际上发生的是，固定的太阳对行星施加的力，同移动着的太阳对行星施加的力是一样的，因而两颗行星的速度变化是等同的。因此，当我启动第二颗行星时外加的任何速度只是继续保持下去，而所有的速度变化都是累加在那些速度头上的。数学上的净效果就是，如果你加上了一个恒定的速度，定律将会完全是一样的。因此，我们不能够通过对太阳系以及各个行星环绕太阳运行的方式的研究来计算出太阳本身是不是在空间中漂移。根据牛顿定律，这样一种在空间中的漂移，不会对各个行星环绕太阳的运动产生任何影响，所以牛顿补充说："各个物体在空间中它们自己互相的运动都是一样的，不管空间自身相对于固定的恒星是静止不动，还是以均匀的速度沿着一条直线运动。"

随着时代的进步，在牛顿之后发现了各种新的定律，其中有麦克斯韦[27]的电学定律。电学定律的结果之一是应当有一种波动，电磁波——光就是电磁波的一个例子——它应当以186000英里每秒的速率行进，正好就是这个数。我说的是186000英里每秒那么快的速度，会发生什么事呢？那么就容易区分出哪里是静止哪里是运动的了，因为光以186000英里每秒的速度行进的定律，（初看起来）肯定不是一条允许有人运动得那么快而不产生某种效应的定律。但事实并非如此，很明显，如果你在一艘宇宙飞船里，以100000英里每秒的速度朝某一方向行进，同时我静止不动，并且我发出一束以186000英里每秒的速度行进的光，透进你的飞船的一个小孔，由于你的速度是100000英里每秒而光的速度是186000英里每秒，那么你所看到的光就只是好像以86000英里每秒的速度通过一样。但是，如果你做这样的实验，结果表明，你看到的光好像以186000英里每秒的速度通过，并且我看到的光也好像也以186000英里每秒的速度通过一样！

大自然的有些事实是不容易理解的，上述实验的事实是那么明显地

违背常识，以至于有些人依然不相信其结果！但一次又一次的实验指出，不管你运动得多么快，光的速度总是186000英里每秒。现在的问题是，怎么会这样呢？爱因斯坦认识到，庞加莱[28]也认识到，如果一个人在运动而一个人在静止而两人依然测量到相同的速度，那么唯一可能的方式是他们对时间的感觉和他们对空间的感觉是不相同的，在空间飞船里的时钟的走动速率与地面上的时钟是不同的，如此等等。你会说，“啊，但如果时钟在走动而我在宇宙飞船里注视着它，那我就看得到它走慢了。”不，你的大脑也走慢了！因而确定了每一件东西都只是在宇宙飞船里面运行，就有可能建立一个系统，在飞船里看来它好像是每飞船秒走186000飞船英里，与此同时在我看来它好像是每我的秒走186000我的英里。那是一件要非常机灵精巧才能做到的事，而令人吃惊的是，结果表明，那是有可能做到的。

我已经提到过，这条相对性原理的结果之一是，你不能够说出你沿着一条直线所做的匀速运动有多快；你记得在上一章里，我们讲到了有两辆车子A和B的情况（图24）。有两个事件在B车的两端同时发生。有一个人站在车厢B中间，某一瞬间在他的车厢的每一端发生了事件x和y，他宣称两个事件是在同一时间发生的，因为站在车厢中央的他是在同一时刻看到从这两个事件发出的光的。但在车子A上的那个人，他是以恒定的速度相对于B运动的，他同样看到了两个事件，但不是在同一时刻；事实上他先看到事件x，因为他正在向前运动着。你看到了关于以均匀的速度沿着一条直线运动的对称性原理的结果之一是（在这里使用对称性这一名词，指的是你不能够说出谁的观点是对的），当我用“现在”这个词来谈论每一件正在发生着的事，那是毫无意义的。如果你正在以均匀的速度沿着一条直线运动着，那么在你看来是同时发生的事件，并不是在我看来是同时发生的那些事件，即使在我认为是同时的两个事件发生的那一刻我们两人正好相遇。我们不能够对一段距离之外的“现在”的意义达成一致。这意味着，为了保证不可能检测到沿着一条直线的均匀速度这条原理，我们对于空间和时间的观念就要产生一种深

刻的转换。实际上只要两个人不在同一地点，而且离得很远，那么在这里发生的事情就是，两个事件从一个人的观点看是同时的，而从另一个人的观点看来则不是在同一时刻发生的。

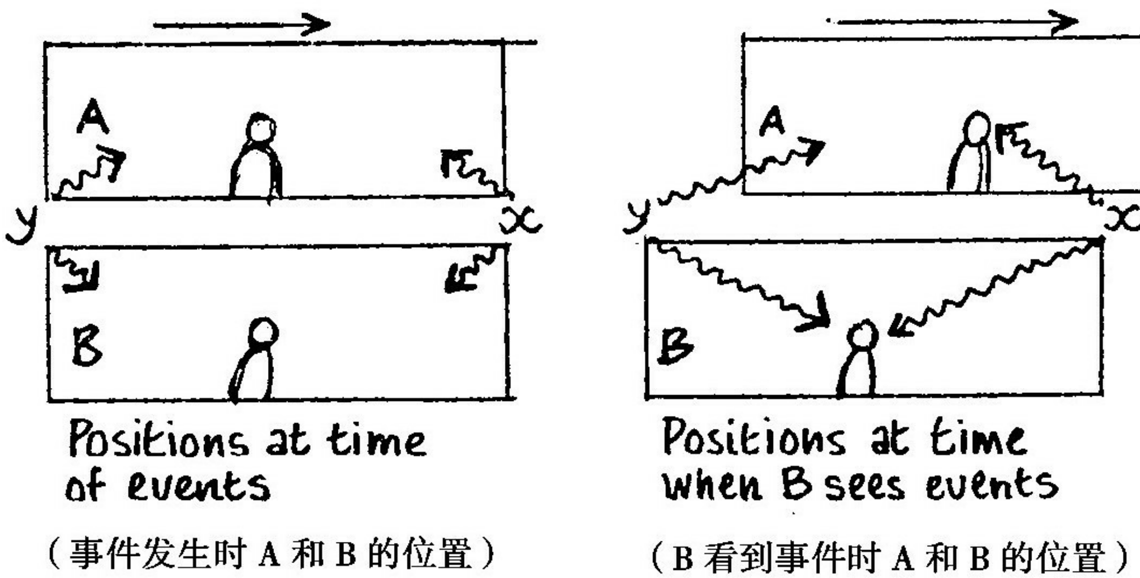


图24

你可以看到，这同空间中的x和y坐标十分相像。如果我站着面对听众，那么我站着的讲台的两面侧墙和我是在同一水平轴线上。它们有同样的x坐标，而y坐标是不同的。但是如果我转过了90°，再看同样的两面墙，但是从一个不同的观点看了，现在一面墙在我的前头而另一面在我的后头了，它们现在具有不同的坐标x′了。同理，从一个观点看来两个事件是同时（同一个时刻t）发生的，而从另一个观点看来可以是在不同的时间（不同的时刻t′）发生的。因而可以把我讲的这种二维转动推广到空间和时间，把时间加到空间之上以构成一个四维世界。那不仅仅是一种人为的叠加，就像在大多数普及读物里给出的解释那样，“我们把时间加到空间上，因为不能仅仅确定一个位置，你还要说在什么时间”。说得不错，但那并不会构成一种真正的四维空间时间；那只是把两件东西放到一起罢了。在某种意义上，真正空间的特征是它的存在是

与特定的地点无关的，从不同的观点去看“前后”坐标，会同“左右”坐标混合。相似地，“过去未来”的时间坐标，也会同某种空间坐标相混合。空间和时间必然是互相联结的；闵可夫斯基发现了这一点之后说，“空间本身和时间本身都将消退为一些阴影，并且只有它们的一种联合会留存下来。”

我把这个特殊的例子讲得这么仔细，因为它是学习物理学定律的对称性的真正开始。正是庞加莱建议做这种分析，看看你能对方程做些什么而方程依旧不变。它是庞加莱注意物理学定律的对称性的态度。空间的迁移、时间的延迟，如此等等，并不是非常深奥的；但以均匀的速度沿着一条直线运动的对称性是十分有趣的，并且它能引出所有类型的结果。而且，这些结果还能够推广到我们还不知道的那些定律。例如，通过猜想在μ介子蜕变过程中这条原理是对的，我们就能够说我们亦不能够运用μ介子来告诉我们在一艘宇宙飞船里飞得有多快；因此我们至少知道了关于μ介子蜕变的一点东西，即使我们并不知道μ介子本来为什么会发生蜕变。

还有许多其他对称性，其中一些属于一类非常不同的类型。我将只提到少数几种。一种对称性是你能够把一个原子替换为另一个同一种的原子，这样做对任何现象都不会引起差别。现在你也许要问“你说同一种是什么意思？”，我只能回答说，同一种原子的意思是，当它被换成另一个时，不会引起任何差别。看起来好像物理学家总是在讲废话似的，不是吗？有许多不同种类的原子，如果你把一个原子换成另一个不同种类的原子则会引起差别，但如果你把一个原子换成一个同一种的原子，那就不会引起差别，这看起来好像是一种循环定义。但事情的真正意义是有一些原子是同一种类的；有可能找到一组一组、一类一类的原子，使得你可以在同一种类里将一个原子换成另一个而不引起任何差别。由于在一小块物质里的原子数目约摸是1后面跟着23个零，那么多的原子的一个重要性质是它们都是相同的，或者它们不是完全不同的。

我们能够把它们分成有限数目的一两百种不同类型的原子，这真是一件非常有趣的事，因而我们关于能够用另一个同类的原子来替换一个原子的陈述含有丰富的内容。在量子力学里它具有最丰富的内容，但我不可能在这里讲清楚这一点，这部分地，并且仅仅是部分地由于这次讲演的听众在数学上还缺乏训练；但无论如何它都是十分难以捉摸的。在量子力学里，你能够把一个原子换成另一个同一种类的原子这一命题具有一些奇特的结果。它产生了液态氦的特殊现象，液态氦不受任何阻力地流过管道，只是靠惯性永远流动。事实上存在着同类原子这一事实，是整个元素周期表的来源，也是使得我不会跌落到地板下面的力的来源。我在这里不能够谈到所有这些细节，但我想强调要注意到这些原理的重要性。

讲到这里，你们可能相信所有的物理学定律无论在任何变化下都是不变的，因而我现在要给出几个对称性不成立的例子。第一个是尺度的变动。假使你建造了一台仪器，然后你再建造另一台，它的每一个部件都用同样的材料做成相同的样子，只是尺寸加了倍，如果你认为它仍然会完全按照同样的方式工作，那样想是不对的。你们熟知原子的人都会意识到这一事实，因为如果我做一台仪器，它要小到100亿分之一，那么我在这台仪器里也许只有5个原子，而我不能够，比方说只用5个原子来做成一台仪器。显而易见的是，我们在改变尺度上不能走得这么远，但即使在原子图像的完全认识形成之前，人们已经明白这条定律是不对的。你也许在报纸上不时看到，有人用火柴杆做了一座几层楼的教堂模型，每一件东西都比曾经见到过的哥特式教堂更哥特式，而且更精致。为什么我们不去像这样使用巨大的原木建造具有同样的浮华装饰，以及同样繁复雕琢的庞大教堂呢？答案是假如我们确实建造了这样的建筑物，它就会因为太高太重而倒塌。啊！但你忘记了你在比较两件东西的时候，你必须改变系统中的每一样东西。用火柴杆做的小教堂是被地球吸引的，因而做比较的时候，大的教堂就应当被一个更大的地球来吸引。真糟糕。一个较大的地球对它的吸引更强，那些建筑构件肯定很快

就破裂了！

物理学定律在尺度的变动下没有不变性的这一事实，最早是由伽利略发现的。在讨论杆件和骨骼的强度时，他论证了，如果你需要为一只较大的动物，比方说一只两倍高、两倍宽和两倍厚的动物配置骨骼时，你将会有八倍的重量，因而你需要能够支持八倍强度的骨骼。但骨骼所能支撑的强度取决于它的横截面，而且如果你做一根两倍大的骨头，它的横截面只大到四倍，只能够支持四倍的重量。在伽利略的著作《关于两门新科学的对话》里，你可以看到他按照实际支持躯体的需要画出的一根想象的巨兽骨头图像，是如何粗壮得不成比例[29]。我设想伽利略自以为发现了自然定律在尺度变动时并不是不变的事实，如同他的运动学定律一样重要，因为这两种定律都收入了他的《两门新科学的对话》里。

另一个不是对称性定律事物的例子是这样一个事实，假如你在一艘宇宙飞船里以均匀的角速率做自转，在这种情况下，说你不能讲出你是否在做转动是不对的。你能。我也许会说，你会感到头晕目眩。这里有两种别的效应；物体由于离心力而被甩向舱壁。（或者不管你喜欢怎么样去描述这种现象——我希望在座的听众中没有大学一年级的物理学教师来纠正我！）有可能通过一具单摆或者一个陀螺仪来说出地球是在转动着，而你可能记得在各个不同的实验室和博物馆里都设有所谓傅科摆[30]的仪器，它证明了地球在转动着，而无须眺望天上的星星。我们不必朝外看就有可能在地面上证明地球是在以均匀的角速度转动着，因为物理学定律在这种运动中不是不变的。

许多人曾经提出实际上地球相对于众星系转动着，如果我们也把那些星系转动，就不会产生任何差别。噢，我不知道假如你把整个宇宙转起来会发生些什么事，并且我们现时没有办法晓得这一点。此刻我们也没有任何理论来描写一个星系对我们这里事物的影响，使得从这一理论

可以直截了当地而不是靠瞎蒙或者生硬地把转动的惯性、转动的效果，把一只旋转着的桶里的水呈现出凹状的表面等现象，看成是周围的物体施加的力的结果。还不知道到底是不是这样。这应当是被称为马赫原理所说的情况，但那是还没有被证实的情况。更直接的实验问题是，如果我们以相对于星云的均匀速度转动，我们会不会看到任何效应。这个答案是肯定的。如果我们乘坐在一艘宇宙飞船里，相对于星云以均匀的速度沿着直线前进，我们会不会看到任何效应？这个答案是否定的。两件不同的事情。我们不能够说所有运动都是相对的。那不是相对论的意思。相对论说的是，相对于星云沿着直线的均匀速度是检测不到的。

我想要讨论的下一种对称性是一种有趣的对称性，并且有一段有趣的历史。那是空间中的反射问题。我建造了一件仪器，让我们说是一具时钟吧，然后在一段短距离之外我再建造另一具时钟，它是头一具时钟的镜像。这两具时钟就像一双手套的左右手一样，一具时钟的发条朝一个方向拧紧而另一具则朝相反的方向拧紧，如此等等。我上好了两具时钟的发条，把它们放在相应的位置上，然后让它们嘀嗒嘀嗒地走动。问题是，它们会总是保持彼此一样吗？一具时钟的所有机件的运转都同另一个镜像一样吗？我不知道你会怎样猜测这个问题。你可能猜想那是对的；大多数人都那么想。我们当然不是在谈论地理学上的差异。我们能够通过地理环境而分辨出左和右。我们可以说，如果我们站在佛罗里达州而朝纽约州看，那么大西洋就在右手边。那样就分出了左和右，而如果时钟浸入海水它就不能工作，那么因为时钟的走时机械不能够在水里运行，我们就不能够把它摆到海里而是要用别的方式来建造它。在那种情况下，我们本来需要想象地球的地理环境也随着那另一具时钟而转过去；涉及的任何东西都必须一起转过去。我们对历史也不感兴趣。如果你在金工车间捡起一颗螺丝，绝大多数情况下它是一只有右旋螺纹的螺丝；于是你会争辩说，那另一具时钟不会是一样的，这是因为难得找到那些相反螺纹的螺丝的缘故。但那只是我们做了些什么样的事的问题。总而言之，那最先的猜想似乎是没有什么东西造成任何差别。结果表

明，引力定律是这样的，如果时钟靠引力工作，那么它不会造成任何差别。电学和磁学的定律是这样的，如果加上了电磁的部件、电流和导线诸如此类的东西，那对应的时钟仍然能够工作。如果时钟涉及通常的核反应来使它运转，它也不会造成任何的差别。但有些东西是会造成差别的，我马上就要谈到它。

你们也许知道，有可能通过让偏振光穿透水溶液来测定溶液里糖的浓度。如果你放好一块偏振片，让光沿着某一轴线穿过偏振片投射到水溶液里去，在观察着光的行进时你会发现，当它穿过越来越深的糖溶液时，你必须把在溶液另一头的另一块偏振片向右转过越来越大的角度才能使光通过。那么，在这里表现出了左和右的分别。我们也可以在时钟里使用糖水和光。假设我们有一玻璃缸水，使一束偏振光穿透它，然后转动我们的第二块偏振片使得光恰好能通过；然后，假设我们在第二具时钟里做了相应的布置，希望光的偏振方向会朝左转。光不会朝左转；它将仍然朝右转而不能通过。使用了糖水，我们的两具时钟就显出了差别！

这是一个最值得注意的事实，而且它初看起来似乎证明了物理学定律在空间反射下不是不变的。然而我们那一次所用到的糖可能来自甜菜；但糖是一种相当简单的分子，有可能在实验室里，用二氧化碳的水做原料，经过许多步骤把它做出来。如果你试一试人工制造的糖，它在化学上无论哪一方面看来都是一样的，但它不会使光旋转。细菌吃糖；如果你在人工糖的水溶液里放进细菌，结果它们会仅仅吃掉一半的糖，当细菌完工的时候，你把偏振光透射剩下来的糖水，你会发现它向左转。这件事情的解释是这样的，糖其实是一种复杂的分子，它是由一组分子按照一种复杂的排列而构成的。如果你做了完全同样的排列，但把左当作了右，那么这一个糖分子的每一对原子之间的距离同那是一样的，这两个分子的能量是完全一样的，并且对于所有不涉及生命的化学现象都是一样的。但生物会发现其中的差别。细菌只吃其中的一种而不

吃另一种。从甜菜提炼出的糖都是同一类的，都是右手性的分子，所以它们都以一个方向使光旋转，细菌只能吃这一类分子。当我们从本身不是非对称的、简单的气态物料制造糖的时候，我们以同等的数量制造出两种分子。然后，如果我们放进细菌，它们将只消灭它们所能吃的那一种而留下了另一种。那就是为什么剩下来的溶液使光朝另一方向旋转的原因。正如巴斯德[31]发现的那样，有可能使用放大镜察看而分拣出两种类型的晶体。我们能够证明这一切都是有意义的，如果我们愿意，我们能够靠我们自己而不必等待细菌来做这种分离工作。但有趣的是细菌能做这件事。这是否意味着生命过程不遵守同样的定律呢？显然不是。看来在生物体内有许许多多复杂的分子，并且这些生物体内的分子都具有一种螺纹的性质。在生物体内最能显示其特征的分子是蛋白质。它们都具有一种开塞钻[32]那样的螺旋走向，就是说是向右旋转的。就我们所知而言，如果我们能够用化学方法制造同样的东西，不过是左旋而不是右旋的，那么那些物质不会有生物学上的功能，因为当它们遇到其他蛋白质时，不能够以同样的方式起作用。左旋螺纹同左旋螺纹相配合，但左旋螺纹同右旋螺纹是无法配合的。细菌在它们体内的化学成分里有右旋螺纹，因而能够区别右旋和左旋的糖。

它们怎么能够做得到呢？物理学和化学只能够制造两种旋向的分子，而不能够区分它们。但生物学能够。容易置信的一种解释是，很久以前当生命过程最早开始的时候，先产生了某种偶然的分子，并且它靠复制自身而繁殖它自己，如此等等，直到许多许多年后，这些形状突兀的一团团生命物质，这里突出一块鼓包，那里伸出一根尖刺，彼此靠近和交流……而我们都不过是这些最早的几个分子的后代，而最早的几个分子采取这种方式而不是别的方式形成，完全是偶然的。必须采取这一种或者那一种方式，或左或右，然后它就复制自己，然后不断繁殖下去。它很像金工车间里的螺丝。你用右手螺纹的螺丝去制造新的右手螺纹的螺丝，如此等等。在生命体内所有分子都具有完全一样的螺纹这一事实，可能是在完全分子水平的基础上表现出来的生命的始祖的统一性

的最深刻的演示。

为了对物理学定律是否对左右都一样这个问题做一个更好的试验，我们可以为我们自己设想如下的问题。假定我们在电话里同一位火星人，或者一位大角星人交谈，而我们想要把地球上的事物描述给他听。首先的问题是，他怎么能懂得我们的话语呢？康奈尔大学的莫里森教授[33]对此有深入的研究，他曾经指出，一种办法是开始的时候说："滴答，一；滴答，滴答，二；滴答，滴答，滴答，三"；如此等等。那个家伙很快就会懂得这些是数目字。一旦他了解了你的数字系统，你就可以写出一长串的数字来依次代表不同原子的重量或者原子量，然后说"氢，1.008"，接着是氘，氦，如此等等。在他坐下来面对着这些数字的时候，过一会儿他就会发现那些比值与各种元素重量的比例是相同的，因此那些名称就必定是各个元素的名称了。运用这种办法，你会逐步建立一种公共的语言。现在问题来了。假定当你同他混熟了之后，他说，"你这伙计，你真好。我想要知道你们看上去是什么样子。"你先回答说，"我们约摸有六英尺高"，而他说，"六英尺——一英尺有多长？"那还不容易："六英尺高就是17亿个氢原子摞起来这么高。"那不是一个笑话——它是向一位没有尺子的什么人描述六英尺有多长的一种可能的办法，假如我们既不能送一个样品给他，双方又不能够看到同样一些物体的话。如果我想要告诉他我们有多高大，我们就可以这样做。由于物理学定律不是在尺子的变动下不变的，因此我们可以运用那一事实去确定尺子的长短。我们可以依法继续描述我们自己——我们有六英尺高，以及我们在外表上如此这般的双侧对称，我们身上还有伸出来的四肢，等等。然后他会说，"真有趣，但你们身体内部看起来像什么样子呢？"于是我就描述体内的心脏等，并且我说，"现在我们的心脏是在左边。"问题是，我们怎么样能够告诉他哪一边是左边呢？你会说，"噢，我们拿些甜菜糖来，把它溶解于水中，然后观察偏振光的旋转……"他的困难只是在于那里没有甜菜。我们也没有办法知道在火星的进化当中发生过什么样的偶然情况，即使在他们那里产生过相应的蛋

白质，也可能一开始就是左旋螺纹的。我们没有办法说清楚。经过冥思苦想之后，你明白你做不到这件事，于是你下结论说那是不可能的。

然而，在大约五年前，某些实验产生了各种各样的谜团。我在这里不能够讲述其中的细节，但我们发现我们自己越来越深地陷入困难之中，遇到越来越多的悖谬状况，直到最后李政道和杨振宁[34]提出，或许左右对称即自然界对左和右是一样的原理是不对的，这样就有助于解开已经发现的一些奥秘。李政道和杨振宁提出一些更直接的实验来证明这一点，而我下面只讲到在所有做过的实验当中最直接的一个例子。

我们看看一种放射性蜕变过程，例如，在这种过程中发射出一颗电子和一颗中微子；这个例子我们前面已经讲到过了，就是一颗中子蜕变为一颗质子、一颗电子和一颗反中微子的β衰变过程；有许多原子核的这种放射性蜕变过程，其中核的电荷增加一个单位同时放出一颗电子。一件有趣的事情是，如果你测量电子的自旋——电子射出来的时候在自转着——你会发现它们在向左自转（从它的后面看，就是说，如果它朝南走，其自转方向就与地球相同）。当电子从蜕变过程中射出时总是朝一个方向旋转，按左手螺纹旋转，这一事实具有确定的意义。这就好像是在β衰变过程中射出的电子是由一支来复枪发射出来的一样。有两种方法制造枪膛的来复线；有一个“射出”的方向，而你可以选择子弹在射出时是朝左转还是朝右转。实验证明了发射电子的是一支来复线左旋的来复枪。因此，运用这一事实，我们就能够打电话给我们的火星人说，“听着，取一块放射性物质，一颗中子，然后观察从它们的β衰变过程中射出的电子。如果电子在射出时朝上走，那么从它的后面看，它体内的自转的方向就是朝左边转。那就定义了什么是左。那就是心脏所在的那一边。”因此就有可能从什么是左谈到什么是右，而世界是左右对称的定律就此垮台了。

下面我想要谈的是守恒定律同对称性定律的关系。在上一章里我们

谈到守恒原理，能量、动量、角动量等的守恒。极为有趣的是看来守恒定律同对称性定律之间有着一种深刻的联系。只有在量子力学知识的基础之上，我们才能够对这种联系给出恰当的解释，至少按照我们今天的理解是这样。尽管如此，我还是要向你们讲关于这一点的一种说明。

如果我们假设物理学定律是能够由最小值原理描述的，那么我们就能够证明，如果有一条定律说你能够把所有的仪器都搬到一边，换句话说如果它在空间中是可以迁移的，那么就必定有动量的守恒。这是在守恒定律同对称性定律之间的一种深刻的联系，但那种联系要求采取最小值原理。在第二章里我们讨论过一种描述物理学定律的方法，即一个粒子在给定的时间范围里尝试不同的路径从一个地点去到另一个地点的方法。存在某一个量叫作作用量，也许这是一个偶然误用的名词。当年按照不同的路径计算作用量时，你会发现这个量实际采取的路径总是比任何其他路径为小。这种描写自然定律的方法是说，对于实际路径来说，用某种公式表达的作用量是所有可能路径当中最小的。说一件东西最小的另一种说法是，如果你起初把路径移动一点点，也不会造成任何差别。假设你正在丘陵地带漫游——是那些平滑的山丘，因为在数学里涉及的东西对应着平滑的东西——你到达一个地点，在那里你是最低的了，然后我说，如果你跨出一小步，你也不会改变你的高度。当你在最低点或者最高点的时候，在第一级近似下，迈出一步不会使你的高度产生任何差别，而你若是在斜坡上，那么你可以迈一步向斜坡下方走去，或者你也可以朝相反的方向迈一步向斜坡上方走去。当你处在最低点，迈出一步不会造成多大差别。这种推理的关键之处，在于假使那样确实造成了差别即升高了的话，那么你朝相反的方向迈一步就会下降了。但是因为这里已经是最低点了，你不能够再下降，因而你的第一级近似是迈一步不会引起任何的差别。因此，我们知道如果把一条实际的路径稍微移动一点点，在第一级近似上不会对作用量引起任何差别。我们画出一条路径，从A到B（图25），现在我要你考虑下面一条可能的其他路径。首先我们从A跳到紧邻的近旁另一点处C，然后我们完全按着相应

的路径去到另一点D，它是从点B移动同一数量的结果，当然是这样，因为那是相应的一条路径。现在我们正好发现，自然界的定律是这样的，沿着路径ACDB的作用量的总量在第一级近似下，是同沿着原先的路径AB一样的——这是当它代表实际的运动路径的时候，从最小值原理得出的结论。我要告诉你一点别的东西，如果当你把每一样东西都迁移过去世界是相同的话，在原来的路径从A到B上的作用量，与从C到D的作用量是相同的，因为这两条路径的差异仅在于你把每一样东西都移过去了。因而，如果空间迁移的对称性原理是对的话，那么从A到B的直接路径上的作用量，是同从C到D的直接路径的作用量一样的。然而，对于真实运动来说，在绕了弯的路径ACDB上的总作用量十分接近于在直接路径AB上的同一作用量，因此真正相同的只是从C到D的那一部分。这条绕了弯的路径上的作用量是三个部分之和——从A到C，从C到D，再加上从D到B的作用量。那么，在减除了相等项之后，你便有可能看到从A到C的贡献加上从D到B的贡献必定等于零。但是在运动中，在这些分段上有一段是沿着一个方向走的，而在另一段上是沿着相反的方向走的。如果我们取从A到C的贡献，想象它是沿着一个方向运动的效应，而从D到B的贡献如同从B到D的贡献但取相反的符号，因为两者的走向是相反的，我们看到有从A到C的一个量是同从B到D的量相配而可以相消的。这是在从B到D的方向上迈一小步对于作用量的效应。那个量，向右迈一小步对于作用量的效应，在开始时（从A到C）同在末尾时（从B到D）是一样的。因此，有一个量在时间流逝中是不会改变的，只要最小值原理成立，而且空间迁移的对称性原理是对的。不会发生改变的这个量（它代表着朝向一侧走一小步对于作用量的效应）事实上正是我们在上一章里谈到过的动量。这就证明了对称性定律同守恒定律的关系，只要假定那些定律遵从最小作用量原理。结果表明，它们的确满足最小作用量原理，因为它们是来自量子力学的。那就是为什么我在上面的分析里说对称性定律同守恒定律的关系来自量子力学的缘故。



图25

对时间延迟的相应论证得出能量的守恒。在空间中转动不会引起任何差别的情况，得出角动量守恒。这样我们也能够进行空间的反射而不产生任何变化的效果，而这是在经典物理学的意义上不能够简单地得出来的结果。人们已经将它称为宇称，而他们也有了一条称为宇称守恒的守恒定律，不过那都是一些难以听懂的词语罢了。我要提到宇称守恒，因为你们也许已经在报刊上读到宇称守恒已被证明为不对的了。如果报

刊上写出来的是你不能够区别左和右的原理已经被证明为错的，本来就会容易理解得多。

我在谈到对称性的时候，还想要告诉你们的是这里有几个新的问题。例如，每一种粒子都有它的反粒子：一个电子有一个正电子，一个质子有一个反质子。我们能够在原则上制造出所谓反物质，其中每一个原子都是由相应的反粒子结合在一起组成的。氢原子是一个质子和一个电子；如果我们拿一个带负电的反质子和一个正电子放到一起，它们也会成为一种类似氢原子的东西，一个反氢原子。反氢原子事实上从来不曾做出来过[35]，但已经设想过在原则上它是能够行得通的，并且我们原则上也能够按同样的方式制造出所有种类的反物质。现在我们要问的是，反物质是以同物质一样的方式运作吗？就我们所知确实如此。对称性定律之一是，如果我们用反物质制成了什么东西，那么它的行为方式会同我们用相应的物质制造的东西一样。当然，如果反物质同相应的物质碰到一起，它们就会互相湮灭，并且发出火花。

人们总是相信，物质和反物质具有同样的一些定律。然而，现在我们知道左和右的对称性看来是错的，由此引起了一个重要的问题。如果我们观察中子的蜕变，但是在反物质世界之中——一颗反中子变成一颗反质子加上一颗反电子（亦称为正电子），再加上一颗中微子——问题是，它是否表现出同样方式的行为——这指的是，出射的正电子是否也按左手螺纹旋转呢，抑或它表现出另一种方式的行为呢？直到几个月之前我们还相信它表现出相反方式的行为，即反物质（正电子）是右旋的而物质（电子）是左旋的。在那种情况下，我们真的无法向火星人讲述什么是左和什么是右，因为可能碰巧他是由反物质做成的，当他做实验时，他的电子会是正电子，于是它们会以错误的方式自转，并且他会把心脏放到错误的一侧。假定你打电话给火星人，告诉他怎么样去制造出一个人；他造出来了，并且成活了。然后你对他说明我们所有的社会约定。最后，在他告诉了你怎样去建造一艘高效率的宇宙飞船之后，你就

乘上它去会见那个火星人，然后你向他走去，再伸出你的右手去同他握手。如果他也伸出他的右手，那就说明一切都没有问题，但是如果他伸出的是左手，当心啊……你们两个就会彼此湮灭！

我很想再同你们多讲几种对称性，但那些对称性都更加复杂而难以说明。还有一些十分有意思的事情，它们就是近似对称性。例如，我们能够区别左和右这一事实，有一个值得注意的地方，就是我们仅仅能够在一种非常微弱的效应，即以β衰变为代表的过程里做到这一点。这意味着自然界有99.99%是不能够区分左与右的，而只有那么一小块区域，一类微小的特征现象是完全不同的，它是绝对不对称的。这是自然界的一个奥秘，还没有谁对此想出一点点线索来。

第5章
过去与未来的区分

每一个人都明白，世界上的各种现象显然都是不可逆转的。我的意思是已经发生了的事情就不会以另一种方式发生。你把一只杯子摔到地上，杯子就打碎了，然后你可以长时间坐在那里，等待那些碎片重新结合起来，并且跳起来回到你的手里。如果你观看海边的波涛卷起浪花，你也可以站在那里等候那些水泡重新聚集到一起，升到海面之上，然后坠落下来离岸而去的伟大时刻——那真是一幅奇妙的美景！

在讲演中演示这样的情景，通常是运用你拍摄的电影片段，然后倒过来放映，那么就会赢得满堂的笑声了。听众们之所以发笑，只是因为那是在现实世界里不可能发生的事。但实际上举出那样一些关于过去和未来的明显和深刻的差别，并不是一种那么有力的论证方式，因为即使没有做过实验，我们对于过去和未来的内心体验也是完全不同的。我们能够记得过去，但我们不能够记忆未来。我们对于什么会发生的意识，与对于什么可能已经发生的意识是不相同的。从心理学上看，过去和未来是完全不同的，我们具有记忆和表面上的自由意志，这指的是我们觉得我们能够做些什么去影响未来，但我们当中没有人，或者只有很少人相信我们能够做点什么事情来影响过去。懊悔、遗憾、希望，等等，所有这些词语都明显地把过去和未来完全区分开来。

如果世界是由原子组成的，而且我们也是由原子组成的并且遵从物理学的定律，那么，对于过去和未来的这一显著区别，以及对于所有现象的这种不可逆性的最明显解释，就是某些定律，某些原子的运动定律是单向进行的——即原子的定律是不能够双向进行的。应当在过程中的

什么地方存在着某种原理，使得只能够由尤克斯利做成乌克斯利[36]，而绝不能反过来，因而世界就总是从尤克斯利的特征转化为乌克斯利的特征，而这种事物之间相互作用的单向往来，就是使得世界的全部现象看来都朝着一个方向演进的原因。

但我们还没有发现这样的原理。那就是说，在我们迄今已经发现的所有物理学定律里，看来对过去和未来没有任何区别。电影可以正着放也可以反着放，物理学家看到了是不会发笑的。

让我们还是拿引力定律作为我们的标准例子。如果我有一个太阳和一颗行星，而我开始时让行星在离开太阳的某一处沿着某个方向环绕着太阳运行，接着我拍摄了一段电影，然后把这段电影倒过来放，我们会看到些什么呢？行星环绕着太阳运行，当然是沿着相反的方向，仍然维持在一个椭圆轨道上的运动。行星的速率使得其半径在相等的时间里总是扫过相等的面积。事实上它完全按照它所应该做的那样运行。它不能够与其他的运行方式区别开来。因而引力定律属于那种运行方向不会引起差别的定律；如果你把仅仅涉及引力的任意现象拍成电影再倒过来放映，那么看起来也是完全令人满意的。你还可以按照这种方式做得更加精细。假使在一个更加复杂的系统里的所有粒子的速度突然间倒转了方向，那么事情的进行就会像把原来卷紧了的东西一步一步地解开来一样。如果你有一大堆粒子进行着某种过程，那么当你突然倒转了速度的时候，它们就会倒转过来进行原来的过程。

在这条引力定律里说，速度的改变是力作用的结果。如果我把时间逆转，力并没有改变，因而在相应的距离上的速度没有改变。因此，其后速度的变化次序，完全依照原来的次序反过来进行，于是就容易证明引力定律是可以做时间逆转的。

电磁学定律又怎么样呢？时间可逆转。核相互作用的定律呢？就我们所知而言是时间可逆转的。我们先前有一次谈到过的β衰变呢？也是

时间可逆转的吗？在几个月前的实验中遇到的困难，显示出有某种问题，定律中有某种未知的东西，提出了事实上在β衰变里也会是时间不可逆转的，而我们还需要等待更多的实验来弄明白这一点[37]。但至少下面这种说法是对的。在最常见的情况下，可能是时间可逆转也可能是时间不可逆转的β衰变，是一种非常不重要的现象。我对你们讲到的可能性并不依赖于β衰变，虽然它确实依赖于化学作用，依赖于电力，现时看来同核力关系不大，但它也依赖于引力。但我是有偏向的——我在讲话时，发出的声音传到空气之中，而当我张开口的时候它不会倒吸进我的嘴里——这种不可逆性同β衰变挂不上钩。换句话说，我们相信由原子运动产生的、世界上绝大多数日常的现象，是由能够把时间完全逆转的那些定律支配的。因此我们要看深入一些，找出不可逆性的由来。

如果我们仔细地注视我们的行星环绕太阳的运动，我们很快会发现那不是完全对头的。例如，地球绕着它自己的轴的转动是逐渐变慢的。那是由于潮汐的摩擦，并且你会看到摩擦是某种不可逆转的东西。如果我放一块重物在地板上，然后推它，它将会滑动，然后停下来。如果我站在那里等候，它不会突然起动并且加速，然后回到我的手里。因而摩擦效应看来是不可逆转的。但是，正如我们在另一次讲座里讨论过的那样，一种摩擦效应是重物同木地板的相互作用，同其中原子的摇晃相关的一种非常复杂的效应。重物的有规则运动转化为木板中的原子的无规则的晃动。因此我们应当更进一步去观察。

事实上，我们在这里有了表观上的不可逆性的线索了。我要举一个简单的例子。假定我们把掺了墨水的蓝色的水和没有掺墨水的清水放在一个缸里，中间有一块薄隔板，然后我们小心翼翼地把隔板拿走。缸里的水开始的时候是泾渭分明的，一边是蓝色的，另一边是清水。等一会儿，蓝色的水逐渐同清水混合，过了不久，缸里的水变成“浅蓝”色，我指的是一种五十对五十的混合，色素完全均匀地分布开来了。现在如果我们等着并且长时间守候，它不会自行分离。（你能够做某些事情使得

蓝色重新分离出来。你可以把水蒸发，再将水蒸气凝结起来放好，并且收集起那些蓝色染料，然后把它溶解到一半的冷凝水里，这样就将事情还原了。但当你这样做你所有的事情的时候，你自己会引起在别处的一些不可逆的现象。）靠它自己是不会自动还原的。

这给了我们一种提示，让我们注视那些分子。假定我们拍摄了蓝色的水和清水混合的一段电影。如果我们把它倒过来放映，看起来就会是很滑稽的，因为我们开始的时候有混合均匀的水液，然后逐渐分离开来，那确实是非常古怪的。现在我们把图像放大，使得每一位物理学家都可以看到一个一个的原子，以发现到底是什么造成不可逆性——是什么地方过去和未来的平衡被破坏了。好了，你开始了，你注视着画面。你有两种不同的原子（听起来真好笑，但是让我们称呼它们为白原子和蓝原子），它们总是在做摇摆不停的热运动。假使我们在开始的时候，初始的状态应当是绝大多数的一种原子在一边，而另一种原子则在另一边。然后这些原子，成千上万的原子到处摇晃，并且如果我们开始的时候让所有的一种原子处在一边，另一种原子处在另一边，我们看到在它们不停地无规则运动中，它们将达到混合，而这就是水逐渐从不均匀变成均匀的蓝色的原因。

让我们观察从画面中选取的任意一次原子碰撞，在影片里各个原子沿着某一方向碰到一起又沿另一方向反弹开来。现在把这一段影片倒过来放映，你会发现那对分子沿着另一方向碰到一起又沿某一方向反弹开来。而物理学家以他敏锐的眼光看到了这种过程，并且测量了每一个变量，最后说，“一切正常，那是符合物理学定律的。如果两个分子沿着这一方向来，就会沿着那个方向反弹。”它是可逆的。分子碰撞的定律是可逆的。

因此，如果你过分着重于细节，你就完全不能明白这种现象，因为每一次碰撞都是绝对可逆的，并且虽然整部影片表现出某种不合理的东

西，就是说在倒着放映的影片里，各个分子开始的时候是混合在一起的——蓝的，白的，蓝的，白的，蓝的，白的——而当过了一段时间之后，通过所有的那些碰撞，蓝分子同白分子分离开来了。但它们是做不到那个样子的，而生命的偶然出现则应当是蓝分子自行同白分子分离开来，那是一种不自然的过程。而且如果你非常仔细地观察这一段倒着放的影片，那每一次碰撞又都是没有问题的。

好了，你明白了整个事情就是，不可逆性是由生命的一般偶然性引起的。如果你从一堆分开了的东西开始，然后进行一系列不规则的变化，它确实会变得更均匀。但如果你从均匀的东西开始，然后你进行不规则的变化，它不会分开来。它确实是能够分开来的。分子互相碰撞反弹使得它们分离开来，那并不违反物理学定律。那只是没有什么可能罢了。在100万年里它是不会发生的。那就是答案。事情不可逆的意思只是，它很可能按照一种方向进行，而按另一种方向进行，虽然按照物理学定律是有可能的，但在100万年里是不会发生的。那就好比如果你坐在那里足够长的时间，希望看到原子的摇晃会把墨水和清水的均匀混合液分离成墨水在一边而清水在另一边那样的荒唐事。

现在在我的实验里放上一个盒子，使得在盒子里每一种分子只有四个或者五个，过了一段时间它们就会混合起来。但我想你会相信，如果你一直守候着这些分子的永恒的不规则运动，那么在某一段时间之后——不必到100万年，可能只要1年——你就会看到它们会偶然在一定程度上回到了它们起初的状态，至少是如果我在盒子中间放上一块隔板的话，所有的白分子会在一边，而所有的蓝分子则在另一边。这并不是不可能的。然而，我们所处理的实际对象不是只有4个或者5个蓝分子和白分子。它们具有的分子数目有4亿亿亿到5亿亿亿个那么多[38]，那些分子都要像上面所说的那样分离开来。因而，自然界表面上的不可逆性不必来自基本物理学定律的不可逆性；它来自这样的一种特征，如果你从一个有序的系统开始的话，而自然界具有的不规则性就会通过分子的碰

撞反弹使得事情往一个方向演进。

因此下一个问题就是，它们一开始是怎样处在有序状态的呢？也就是说，为什么有可能从有序的状态开始呢？困难在于，我们从一个有序的东西开始，而我们并不以一个有序的东西结束。世界的规则之一是事物总是从一种有序的状况演进到一种无序的状况。顺便说说，有序这个词，像无序一样，是物理学里那些与日常生活里的意思不尽相同的词汇当中的又一个例子。有序不一定是作为人类的你们会感兴趣的东西，它仅仅指有一种确定的状况，所有的一种东西在一边而所有的另一种东西在另一边，或者这两种东西混合起来了——那就是有序和无序。

那么，问题是事物在开始的时候是怎样成为有序的呢？以及为什么当我们看到任何只是部分有序的普通状况时，我们都能判定它可能是从一种更加有序的状况演进而来的呢？如果我们看着一缸水，其中一边是深蓝色的而另一边是清净的水，并且中间带着浅蓝色，并且我知道那东西已经单独放在那里有20或者30分钟了，那么我就会猜到它变成这个样子是因为原先它是分离得更加彻底的。如果我等候得更久一些，那么蓝色的水和清水将会进一步互相混合，如果我知道这个东西已经单独放置足够长的时间的话，我就能判定过去的某种状况。事实上它的两边显得“平滑”过渡，只能是由于它在过去分离得更加鲜明的缘故，假使它过去不是分离得更加鲜明，那么从那时以后，它将会变得比它现在混合得更加均匀。因而我们就有可能从现在推知过去的某种情况。

事实上，物理学家们通常并不沿这一方向做得很多。物理学家们喜欢想，你们要做的只是说，“现在有这些条件，那么下面会发生些什么呢？”但所有我们的兄弟科学家都有一个完全不同的问题：事实上在历史学、地理学、天文学史等所有研究其他东西的学科，都有一个这样另一类的问题。我发现他们有能力做出与物理学家完全不同类型的预言。一名物理学家说，“这种条件下，我会告诉你下面会发生什么。”但一名

地理学家则会说这一类的话，“我掘开地下，然后我发现了某种骨头。我预言如果你掘下去的话，你就会发现一种类似的骨头。”历史学家，虽然他谈论的是过去，但也能通过谈论未来来做这件事。当他说法国大革命于1789年发生，他的意思是如果你读到另一本有关法国大革命的书，那么你将会看到同一个年份。他所做的是做出某种他以前从来不曾见到过的东西，以及某些尚待发现的文件的预言。他预言在写着某些有关拿破仑事情的文件里的内容将会与在其他的文件里写的内容相符合。问题是怎么样能够如此呢——而使得那样成为可能的唯一途径，看来是世界的过去在这种意义上要比现在更加有组织得多。

某些人曾经提出，世界是通过这样的途径变得有序的。一开始的时候整个世界只有不规则的运动，就像混合的水液一样。我们看到过，如果你等候的时间足够长，在只有几个原子的情况下，水会偶然地变得分离开来。某些物理学家（一个世纪之前）提出说，发生这样的情况，全是由于世界这个不停运行的系统发生着涨落的缘故。（那是用来描写稍微偏离通常的均匀状况的一个术语。）它在涨落，而现在我们正守候着它通过涨落重新恢复自己。你会说，“但你要等候多久方才看得到这样的涨落呢？”我知道，但如果没有发生过那么凑巧的涨落，使进化得以进行，使一名有智慧的人得以诞生，我们本来也不会注意到这件事。因而我们就是要一直守候住，直到我们能够活着见得到那样的涨落——我们至少要有那么大的一种涨落。但我相信这种理论是不正确的。我想，由于以下的原因，它是一种荒谬的理论。假使世界更大一些，并且各个原子充满着每一处地方，从一种均匀混合的原始状态开始，那么假设我碰巧只能够看到在一个地方的原子，并且发现那里的原子都分离开来了，我还是没有办法判定在任何别的地方的原子也都分离开来了。事实上，假使事情确是一种涨落，并且我注意到有一处地方出现某些奇怪的东西，那么最可能的情况是在别的任何地方都没有奇怪的事情发生。那就是说，我需要找到一些偏差，使得情况失去平衡，但你是找不到那么多的偏差的。在蓝色的水和清水的实验里，当最终盒子里的几个分子都

分离开来的时候，最有可能的情况是水的其余部分仍然是混合起来的。因此，虽然当我们注视天上的群星和我们注视这个世界的时候，我们看到的是每一样东西都是有序的，假使真有一种涨落，就会预言说如果我们注视一处以前从来没有视察过的地方，就会看到它是无序而杂乱的。虽然我们所看到过的物质分离成炽热的群星和寒冷的空间，假使这种状况确是一种涨落的话，那么我们就会期望在我们没有看到过的地方发现群星与空间并没有分离开来。并且由于我们总是预言说在我们没有看到过的地方将会看到处在相似条件下的群星，或者发现关于拿破仑的同样陈述，或者将会看到与我们以前看到过的骨头相像的一些骨头，所有那些学科里预言的成功都指示着世界并不是来自涨落，而是来自一种过去比现在更加分离，更加有组织的状况。因此我觉得有必要在物理学定律之外加上一条假设，在技术性意义上，宇宙的过去比今天更加有序——我想这是令不可逆性有意义，并且使它得到理解所必需的一条额外的陈述。

这样一条陈述本身当然在时间上是有偏向的；它说过去的某些东西是与将来不同的。但它来自我们通常称为物理学定律的范围之外，因为我们今天试图区别支配着宇宙发展的规则的那些物理学定律的陈述与描述世界过去状况的定律。后者被认为是属于天文学的历史——也许有朝一日它也会成为物理学定律的一部分。

现在我想要讲述不可逆性的几种有趣的性质。其中之一是认真地看看，一种不可逆的机械到底是怎样运作的。

假定我们建造了某种东西，我们知道它应当是只能够单向运作的。实际上我们要建造的是一个带有棘齿的轮子——轮子周边满是锯齿，锯齿的一边成尖锐的角度，而另一边则相对平缓。这个叫作棘轮的轮子安装在一根转轴上，它同一只小棘爪配合，棘爪安装在一根枢轴上，并有一根弹簧向下拉住它（图26）。

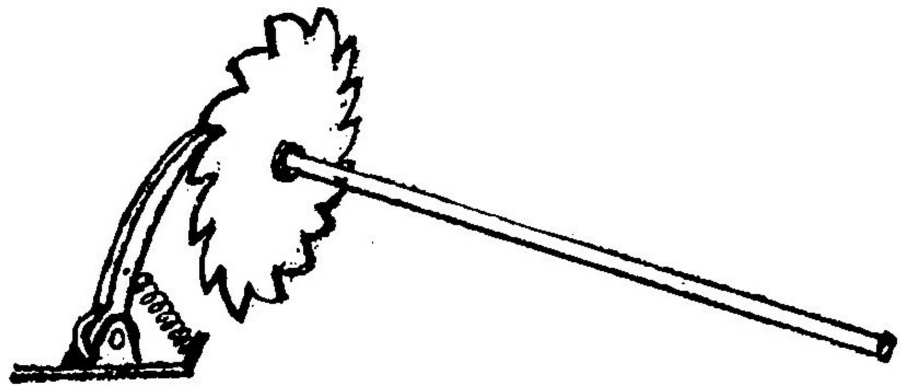


图26

现在轮子只能够单方向转动了。如果你试图反过来转它，那些棘齿的尖角部分卡住棘爪，棘轮就动不了；而如果你按另一方向转动棘轮，那么棘爪正好嘀嗒嘀嗒地跳过一个又一个的锯齿。（你晓得这一类的东西：在时钟里运用着棘轮机构，并且在手表内部也有这一类的东西，使你在上发条的时候只能单方向拧转。）在只能够单方向转动的意义上，棘轮是完全不可逆的。

现在，已经有人想出来，这种不可逆的机械，这种只能够单方向转动的轮子，可以用来做一件非常有用和有趣的事情。[39]正如你所知道的那样，分子有一种永恒的不规则运动，并且如果你利用这一性质建造了一种非常精巧的器械，它就会由于它所受到的附近空气分子的不规则撞击而总是在摇晃着。好了，那是一种非常聪明的想法，在一套棘轮机构的转轴上装上四块叶片（图27）。这些叶片装在一个充有空气的盒子里面，它们就总是受到空气分子不规则的撞击，使得叶片时而被推向一边，时而被推向另一边。但当叶片被推向一边时，这件东西被棘爪卡住了，而当叶片被推向另一边时，它就会转起来，因而我们发现轮子会永恒地转动下去，于是我们就得到了一种永恒运动的机械。那是因为棘轮机构是不可逆的缘故。

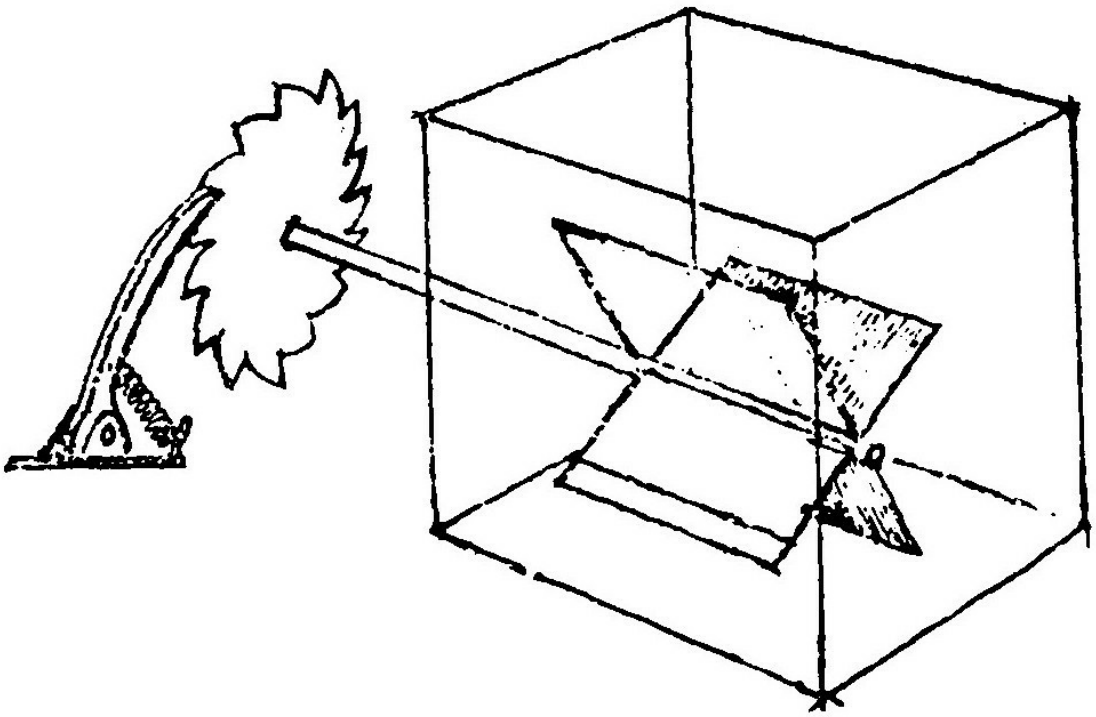


图27

但是，事实上我们必须更加仔细地考察这些东西。这一套装置工作的方式是那样的，当轮子向一个方向转动的时候它先把棘爪顶起来，然后棘爪跳落下去抵住棘齿的底部。然后它会再反弹起来，并且如果它具有理想的弹性，它就会一直反弹，反弹，反弹，而仅当棘爪偶尔跳得太高时轮子才会朝另一方向转动。因而这样就不灵了，除非当棘爪落下来时它被挡住了，或者停住了，或者反弹再切入。如果它反弹再切入，就必定有我们称之为阻尼或者摩擦的效应，并且在落下再反弹再停住这种唯一使得它能够单方向转动的过程中，由于摩擦会产生热量，因而轮子就会变得越来越热。然而，当轮子变得很热时就会发生别的事情。那正是布朗运动，即由于围绕着叶片的空气分子的不规则运动所产生的效应，因此，不管棘轮和棘爪是由什么材料做成的，也不管它们是由什么部件组成的，都要变得更热，并且开始以一种更加不规则的方式来运动。当棘轮变得那么热的时候，棘爪就会由于它内部的分子运动而只是

简单地上下晃动，并且它由于分子运动而在轮子上跳上跳下，这就好像使得叶片转动起来所受到的撞击一样。棘爪在棘轮上跳上跳下，往上跳和往下跳的次数一样多，那么那些棘齿就可以随便朝哪一个方向转动了。我们不再拥有一台单向运动的装置了。事实上，事情还可以反过来驱动！如果轮子是热的而叶片部分是冷的话，你认为应当只能单向转动的轮子也会朝另一个方向转动，因为每一次棘爪落下时，它是落在棘轮的一个齿的倾斜面上，这样就会推动轮子“反向”转动。然后它会再跳起来，落到另一个倾斜面上，重复着以上的过程。因此，如果轮子比叶片热的话，它就会朝错误的方向转动。

这同环绕着各个叶片的气体的温度有什么关系呢？假定我们根本没有那个部件，那么，如果轮子由于棘爪落到一个齿的倾斜面上而被推动了的话，接着要发生的一件事就是齿的垂直边会弹跳起来离开棘爪，轮子就会弹跳回去了。为了防止轮子弹跳回去，我们在它上面装一个阻尼器，并且把各个叶片放在空气中，因此它会迟缓下来，不再自由地弹跳。那么它就会单方向转动了，不过是按错误的方向，于是结果就明白了，不管你怎么样设计它，如果一边比较热，轮子就会朝一个方向单方向转动，而如果另一边比较热，轮子就会朝另一个方向单方向转动。但在两边之间发生热交换之后，一切都平静下来了，因而叶片和轮子都处在同一温度，按照平均的效应，它不再朝一个方向转动，也不再朝另一个方向转动。这就是只要存在着不平衡，只要一边比另一边平静一些，或者一边比另一边冷一些，自然现象就会按照一种技术性方式单方向发生。

能量的守恒会令人想到，我们想要多少能量就可以有多少。自然界永不损失也不增殖能量。然而，例如海洋的能量，在海水里所有原子热运动的能量，实际上是不能够被我们利用的。为了使得那种能量组织起来，集合起来，以至于可以被我们所利用，需要存在一种温度上的差别，否则我们将会发现虽然有能量而我们不能够利用它。能量与能量的

可利用性之间存在着巨大的差异。海水含有非常大量的能量，但无法被我们所利用。

能量的守恒意味着世界的总能量保持相同的数量。但在不规则的摇晃之中，那种能量能够在某种情况下分布得那么均匀，使得没有办法使过程朝某一方向而不是另一方向进行，没有办法对过程的方向实施任何控制。

我想通过一种比拟能够对这种困难给出一点说明。我不知道你是否有过这样的经验——而我是有过的——拿着几条毛巾坐在海滩上，突然下起了倾盆大雨。你尽快地抓起那些毛巾，跑到更衣室里去。于是你开始擦干你自己，然后你发现这条毛巾有一点湿了，但它还是比你的身体要干。你继续用这一条毛巾擦身，直到你发现它湿透了——它在擦干你的同时也在打湿你，打湿的水分同擦干的一样多——于是你就换另一条毛巾来用；过了不多久你就发现一件可怕的事情——所有的毛巾都弄湿了，同你一样湿。即使你有许多条毛巾，也没有办法变得更干了，因为那些毛巾湿得同你自己一样，润湿的程度没有差别。我想发明一个量，我叫它作“除掉水分的难易程度”。毛巾具有同你一样的除水难易程度，因而当你用毛巾擦拭你自己的时候，从毛巾流向你的水分同从你流向毛巾的水分一样多。那并不意味着在毛巾上和在你身上的水一般多——一条大毛巾比一条小毛巾蓄存的水更多——但它们具有同样的湿润程度。当样样东西都达到了相同的湿润程度时，你做任何事情都是无济于事的。

现在，水就好像能量一样，因为水的总量是不变的。（如果更衣室的门敞开着，并且你能够跑到阳光下面去晒干，或者找得到另一条毛巾，那你就可以脱离困境了，但我们假定什么东西都是关起来的，并且你不能够丢掉这些毛巾或者得到任何新的毛巾。）同样地，如果你设想世界的一部分是封闭的，并且等待足够长的时间，那么在世界上发生的

各次偶然事件中，能量像水一样会均匀地分布到所有各个部分，直到没有什么东西是单方向变化的了，世界上再也没有什么我们经历到的东西会激起真正的兴趣了。

因而，在棘轮和棘爪以及叶片的这个不涉及其他东西的局限情况中，两边的温度渐趋相同，而轮子不再朝一边也不再朝另一边转动。同样的情况是，如果你足够长久地不触动任何系统，它就会使得其中的能量完全混合起来，于是没有什么能量是真正可以用来做任何事情了。

顺便提到，对应于润湿度或者“除掉水分的难易程度”的那个量叫作温度，虽然我说当两个东西温度相同时就达到了平衡，那并不意味着两者所含的能量相同；那只是意味着从一件东西提取能量是与从另一件东西提取能量同样容易的。温度就像是一种“取用能量的难易程度”。因而如果你把两件这样的东西靠着放在一起，表面上看来什么也没有发生；它们互相之间传递等量的能量，但净的结果是零。因此，当每件东西都具有相同的温度时，就再没有什么能量可以用来做任何事情了。不可逆性的原理是，如果不同的东西处在不同的温度，并且让它们自己留在那里，那么在时间流逝的过程中，它们就会变得越来越趋于同一温度，而能量的可利用性则总是在减小。

这一规律是所谓熵增加定律的另一个名称，它说的是熵总是在增加着。但绝不要计较那些术语；用另一种方式表达，能量的可利用性总是在减小。而那是这个世界的一种特征，这指的是它是由于分子不规则运动的混乱所导致的结果。如果不触动一些不同温度的东西，那么它们就会趋于相同的温度。如果你有两件处在相同温度的东西，就像一锅水和一个没有点火的普通炉子，那么水不会凝结而炉子也不会变热。但如果你有一个火热的炉子和一块冰，那就会是别的样子了。因而单方向性总是同能量可利用性的损失联系在一起的。

以上就是我对这个题目所要讲的全部内容，但我还想要对有关的一

些特征做几点说明。我们这里有一个例子，其中一种明显的效应，不可逆性，不是物理学定律的一种直接结果，而事实上是离开那些基本定律相当远的。要通过一大套分析才能明白它的理由。这种效应对于世界经济，对于世界上所有明显表现出来的事物的实际行为，都是有头等重要意义的。我的记忆，我的特性，过去和将来之间的差别，都深深地同它相关，然而对它的理解并不是了解了那些定律就可以轻易达到的。要通过一大套分析才做得到。

常常有这样的情况，物理学定律并不具有一种与经验明显的直接相关性，但它们是在不同的程度上从经验抽象出来的。在这一特殊的情况下，定律是可逆的而现象并不如此，这就是一个例子。

在具体的定律同真实现象的主要方面之间，常常有巨大的差距。例如，如果你从远距离观看一道冰河，看到一些巨大的石块跌落海里，看到冰块漂移的方式，如此等等，那么记不记得它是由一些微小的六角形冰晶组成的似乎是无关紧要的。虽然如果在这方面懂得了足够的知识，那么冰河的运动事实上是六角形冰晶的特性的结果。但要花费许多时间来了解冰河的所有行为（事实上还没有人对冰有充分的了解，尽管他们对晶体研究得那么多）。然而，希望在于，如果我们确实了解了冰的晶体，我们就终将了解冰河的一切。

事实上，虽然我们在上面的几章里谈到了物理学定律的基本性质，我还是必须立刻说，我们通过掌握了我们今天所知道的各种基本定律，还是不能够直接地得到对于更多的任何东西的了解。那需要花费时间，并且即使那样，也只能得到部分的了解。事实上，自然界看来是这样设计的，真实世界中最重要的东西，看起来就像是一大批定律共同起作用的一种复杂的偶然结果。

说说一个例子，含有质子和中子等几种核粒子的原子核是非常复杂的。它们具有我们称之为能级的状态，也就是说它们可以处在不同能量

值的一些状态，而不同的原子核具有不同的能级分布。要求出各个能级的位置是一个复杂的数学问题，我们今天仅仅能够部分地解决这一问题。各个能级的准确位置显然是一种极为复杂的机制的结果，因而，例如含有15颗核粒子的氮核，恰好具有2.4兆电子伏特的一个能级和7.1电子伏特的另一个能级等的这一事实，并没有什么特别的神秘。但是，关于自然界的一件惊人的事情是，整个宇宙在它的特性上，精确地依赖于宇宙特别的原子核的一个特定的能级的位置。在碳12核里，碰巧有一个7.82兆电子伏特的能级。而且它制造了世界上的一切差别。

事情是这样的。如果我们从氢开始，并且看起来世界在开始的时候事实上全部都是氢，然后当氢核在引力作用下碰到一起，并且变热了，就会发生核反应，于是就能够形成氦核，然后氦又仅仅能够部分地同氢结合而产生另外几种稍微重一点的元素。但这些较重的元素马上又发生蜕变，变回了氢。因而有一段时期，关于世界上所有其他元素是从哪里来的成为一个巨大的奥秘，因为在恒星内部从氢开始的那个大熔炉的过程中，不会产生许多氦和其后的五六种轻元素。面对这一状况，霍伊尔和萨尔皮特教授[40]说，有一种方法可以破解这个难题。如果三个氦原子能够结合到一起形成碳，我们就能够容易计算出那种过程在一颗恒星里发生的机会。结果表明，它是永远不会发生的，除非满足一种可能的巧合条件——如果碳核刚好有一个7.82兆电子伏特的能级，那么三个氦原子就会碰到一起，并且在它们分开之前停留在一起的时间，会比如果没有这个7.82兆电子伏特的能级的平均停留时间长一点。而当它们在一起停留得稍微长久一点，就会有足够的时间发生别的什么事，产生别的元素。如果碳核有一个7.82兆电子伏特的能级，那么我们就能够明白周期表里的所有其他元素是从哪里来的了。于是，通过倒推，即颠倒过来的推理，预言出碳核有一个7.82兆电子伏特的能级；后来在实验室里证明了确实如此。因此，世界上所有这些其他元素的存在，密切依赖于碳的这一特定的能级。但在知道了物理学定律的我们看来，碳的这一特定能级乃是12个粒子复杂相互作用的一种非常复杂的巧合。这是一个极好

的实例，说明了这样的事实，了解了物理学定律，你并不一定就能够直截了当地明白世界上各种事物的意义。真实事物的经验细节，往往同基本定律离得很远。

当我们谈到各种等级体系或者不同的层次时，我们就有了讨论世界的一种方式了。噢，我不是说要十分精确地把世界划分为一些确定的层次，但我要通过描述一组概念来指出，我说的概念的等级体系是什么意思。

例如，我们掌握了物理学的各种基本定律，然后我们发明了代表一些近似概念的术语，而我们相信它们是能够用基本定律来给出最终解释的。例如，热。热被假定为原子的无规则运动，而讲一个热的物体的热，指的正是大量原子在做无规运动的那种热。不过当我们谈论热时，有时候忘记了那些原子的无规运动——正如当我们谈论冰河的时候并不总是想到六角形的冰晶以及起初飘落的雪花。同样的事情的另一个例子是一颗食盐晶体。从基本的观点看，它是一大堆质子、中子和电子；但我们有这个“食盐晶体”的概念，它已经承载了有关基本相互作用的整个样式。像压强这样的概念也是一样的。

现在如果我们从这里往上站得更高一些，在另一个层次上我们有了物质的性质——例如代表当光通过某种物质分界面时偏折性质的“折射率”；或者代表水倾向于把它自己聚拢来的“表面张力”，两者都是用数来描写的。我提醒你，我们得要通过几条基本定律才能看出它来自原子间的拉力，如此等等。但我们仍然在说“表面张力”，并且在讨论表面张力的时候不必顾及水内部的机制。

我们继续往上走到等级体系的更高一个层次。水会形成波浪，而且我们还有像风暴那样的东西，“风暴”这个名词代表了许许多多的一批现象，或者一个“太阳黑子”，或者“恒星”，它们都是许多事物的累积。总是想把那些现象回溯到基本的层次，未必是有意义的。事实上我们也做

不到，因为我们要升到的层次愈高我们就要经过愈多的中间步骤，而其中每一个步骤都把其中的联系减弱了一点。并且，我们还没有把那些步骤全部想清楚。

当我们在这个复杂性的等级体系中再往上走的时候，我们还会遇到像肌肉抽搐，或者神经脉冲之类的东西，从物理世界的角度看乃是极端复杂的，涉及一种非常精巧而复杂的物质组织形式。于是就会有像“青蛙”那样的东西。

我们接着往上升，我们就会遇到像“人”和“历史”，或者“政治权术”之类的名词和概念，等等，这是我们用来在一个更高的层次上理解事物的一系列概念。

继续往上升，我们就会遇到恶、美和希望……

如果我可以使用宗教上的隐喻的话，哪一头更接近上帝呢？美和希望，还是基本的定律？我想那正确的回答当然是说，我们要看的是事物的整体结构性的相互联系；所有的科学，并且不仅是科学还有所有各种知识的成果，都是为了看到体系中的各个等级之间的联系的努力，包括美同历史的联系，历史同人类心理的联系，人类心理同大脑功能的联系，大脑和神经脉冲的联系，神经脉冲同化学的联系，如此等等，在各个层次中既要上升亦要下降，做出双向的观察。我们今天还不能够从这一事物的一端用心画出一条线，指明同其他东西联系的种种方式，并且即使相信我们能够做得到也没有用，因为我们只是刚刚开始看到了有这样的一种相关的等级体系。

而我不认为有哪一头更接近上帝。无论站在哪一头，然后只是离开这道堤岸的这一头，期望沿着那个方向就可以得到完全的理解，不过是一个错误的想法。站在恶和美以及希望这一头，或者站在基本定律这一头，期望只凭这种方式就能够得到对整个世界的深入理解，也是一种错

误的想法。一些人专注于一头，而另一些人则专注于另一头，并且互相漠视对方，那也是不明智的。（实际上他们并不那样，但人们总说他们是那样的。）绝大多数的工作者，包括在两头的和在中部的工作者们，他们处在两个层次的中间，把一个层次同另一个层次联系起来，正在全力地增进我们对世界的理解，通过这种方式，我们就能够逐渐理解由互相联系着的各种等级体系构成的这个惊人复杂的世界。

第6章
概率和不确定性——对自然界的量子力学观点

在实验观察的历史，或者对科学事物的其他种类观察的历史的开端乃是直觉，它实际上是以对日常生活所遇到的各种对象的简单经验为基础的，并对那些事物做出了合乎常理的解释。但当我们试图开阔眼界，并且要使得我们对我们所看到的东西做出更加一致的描述的时候，当我们眼界越来越开阔并且看到了一个更大范围内的各种现象的时候，那些解释就从简单的解释变成我们称之为定律的东西了。一种奇异的本性是，那些解释或者定律常常变得越来越不合常理，以及凭着直觉越来越难以弄明白了。举一个例子，在相对论里有这样的命题，如果你认为两个事件在同一时间发生，那不过是你的看法而已，别的什么人则会判定那两个事件的一个是在另一个之前发生，因而同时性仅仅是一种主观的印象。

我们没有什么理由期望事情要按另一种方式发生，因为日常生活的经验都牵涉庞大数目的粒子，或者牵涉很缓慢地运动着的东西，或者受到其他一些特殊的条件的约束，并且事实上仅代表了关于自然界的局部经验。我们从直接经验认识到的只是自然现象的一小部分。只有通过精心的测量和细致的实验，我们才能够拥有更广阔的视野。然后我们就会看到意想不到的事物：我们看到的东西远不是我们所能够猜想得到的——远不是我们原来想象得到的。我们的想像力伸展到了极度，那不是像在小说里那样想象一些现实中不存在的东西，而只是去理解存在着的那些东西。我想要讨论的就是这一类情况。

让我们从光的历史开始。首先假设光的行为非常像一簇粒子或者一簇微粒，就像天上掉下来的一滴滴雨点或者从枪支里发射出来的一颗颗子弹那样。后来，经过进一步的研究弄明白了那是不对的，实际上光的行为像波，例如像水波那样。再后来到了20世纪，更进一步的研究发现，实际上光在很多方面的行为是像粒子那样的。在光电效应里你可以一个个地数出这些粒子，现在把它们叫作光子。最初发现电子的时候，它们的行为简单得就像一些粒子或者子弹那样。后来，根据例如电子衍射实验那样的进一步研究表明，它们的行为就像波那样。随着时间的推移，在关于这些东西真的像什么——像波还是像粒子，或者像粒子还是像波的问题上，产生了愈演愈烈的混乱。每一样东西都既像这个，又像那个。

在1925年或者1926年量子力学的正确方程出现之际，就结束了这一场越来越混乱的局面。现在我们知道电子和光是怎么样运动的了。但是我们应该怎么样描述它们呢？如果我说它们表现得像粒子，我就给出了一个错误的印象；如果我说它们表现得像波，那也是错的。它们按照它们本身的一种无可比拟的方式运动着，在技术上可以把那种方式称为量子力学方式。它们的行为方式不像你们以前看见过的任何东西。你们以前看到过的所有东西的经验是不完全的。在一个非常微小的尺度上的东西的行为简直是完全不同的。一个原子的行为不像悬在一根弹簧上振动着的一个重物；它也不像一个小型的太阳系，其中有一些微小的行星在轨道上运行。它看起来也不像环绕着原子核分布的某种云雾。它的行为不像你曾经看到过的任何东西。

这里至少有一种简化的认识。电子在这一方面的表现，与光子是完全相同的；它们都是古怪的，但以完全相同的方式运动。

因而，我们要做出大量的想象才能弄明白它们是怎么样运动的，因为我们要描述的是同你以往熟悉的任何东西都不相同的对象。由于这一

缘故，这一章是我这一系列讲座里最困难的了，因为它是抽象的和远离经验的。我无法逃避这一困难。假使我在讲述物理定律的本性这一系列的讲座中讲不了关于在微小尺度上的粒子的实际行为的描写，我肯定不会来做这件事。这完完全全是自然界里所有粒子的特征，并且是一种普遍的特征，因而如果你要想听听物理定律的本性，讲一讲这个特殊的方面就是非常重要的。

这将会是困难的。但这种困难其实只是一种心理学上的困难，是由于你老是用“但是它怎么会像那个样子呢？”的问题来折磨自己，要按某种熟悉的观念去看待它的一种不由自主可是完全徒劳的愿望的反映。我不会用与某种熟悉的东西的类比来描述它；我将简单直接地描述它。曾经有一段时间，报纸上说只有12个人懂得相对论。我不相信真的有那样的一天。可能会有一段时间，只有一个人懂得相对论，因为在他写出他的论文之前，他是掌握它的唯一的一个家伙。但当人们读到了那篇论文，就会有好些人以这样那样的方式理解了相对论，肯定不止12个人。另一方面，我想我可以放心地说，没有谁理解量子力学。因而，不必太认真地对待我这一讲座，觉得你真的通过我所描述的某种模型弄懂了什么，你自由自在地欣赏它好了。我将要告诉你，自然界的行为像什么样子。如果你能简单地接受自然界的行为可能就像这个样子，那你就会发现她多么令人愉悦和喜爱。如果你有可能避免的话，不要总是问你自己“但是它怎么会像那个样子呢？”因为那样就会使得你陷进去，钻入一个谁也逃不出来的死胡同里去。谁也不知道它怎么会像那个样子。

好了，现在让我来对你们描述电子和光子以它们典型的量子力学方式所表现出的行为。我要通过类比和对比的混合来做这件事。如果我纯粹用类比来做，我会失败；它必须使用对你所熟悉的东西的类比和对比。因而我通过类比和对比来做这件事，首先讲的是粒子的行为，我将使用子弹做例子；然后讲的是波的行为，我将使用水波做例子。我要做的是设想一种特殊的实验，并且首先告诉你在那个实验里使用粒子会是

什么样的状况，然后如果用波做实验你会期望发生什么样的结果，最后当在实验系统里实际做实验的是电子或者光子的时候，又会发生什么样的状况。我将只举出这一个实验，它的设计里已经包含了量子力学的所有奥秘，把你带到那些佯谬和奥秘以及自然界的百分之一百的特点面前。结果表明，对于量子力学里的任意其他情况，总是能够通过说这句话来得到说明：“你记得有两个小孔的实验的情况吗？那是同一回事。”我要告诉你的是关于有两个小孔的实验的情况。它确实包含着普遍性的奥秘；我不回避任何事情；我把自然界以她的最精致和困难的形式揭露出来。

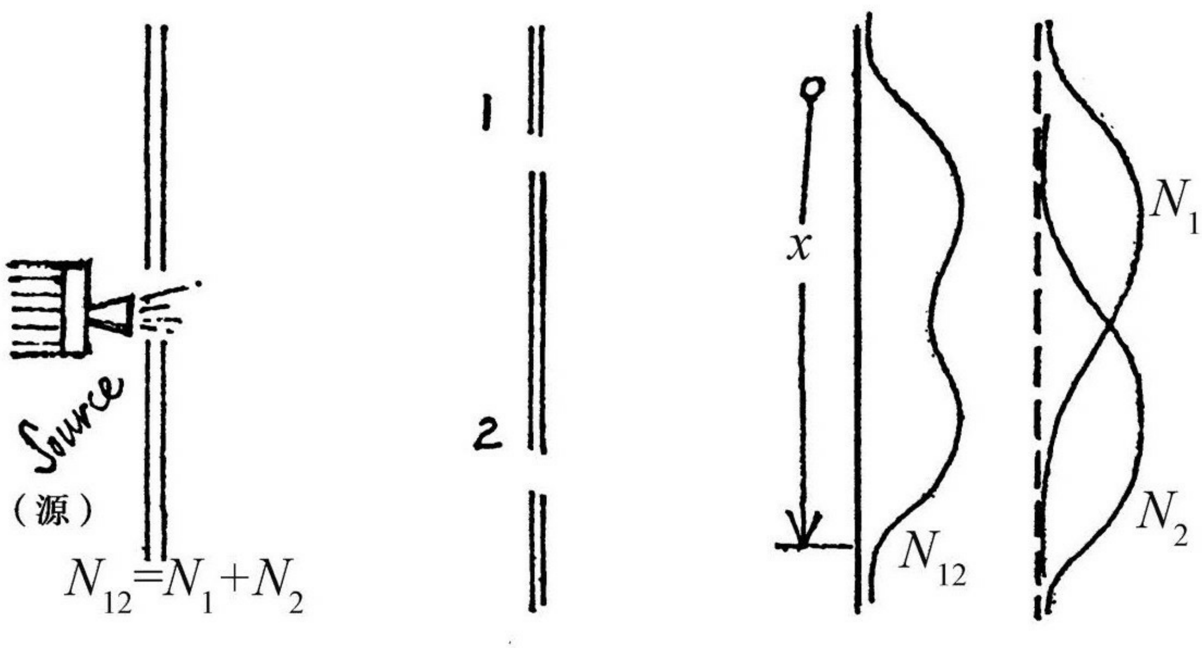


图28

我开始用子弹做实验（图28）。假定我们有某种发射子弹的源，一挺机关枪，在它前面有一块开了一个可容子弹穿过的孔洞的板子，并且这是一块能抵挡子弹的装甲板。离它相当远处有第二块板子，它的上面有两个小孔——那就是著名的双孔实验装置了。我要对这两个小孔讲得很多，所以我把它们分别叫作孔1和孔2。你可以想象在三维空间里它们

是两个圆形的孔洞，图中画出的只是一个横截面。在离它相当远处我们有另一块屏板，它不过是某种挡板，在它上面我们可以在各个不同的部位安放一个探测器，在子弹射击的情况下那就是一个沙箱，子弹会陷入其中，我们就可以对它们计数了。在我要做的实验里，把这个探测器或者沙箱先后放到不同的位置上，我分别数出有多少颗子弹落入沙箱，并且为了描述观察的结果，我要测量出沙箱离开某一处的距离，而且把这一距离叫作“x”，然后我就谈论当你变动“x”的时候会有什么样的结果，而“x”指的仅仅是你把探测器的箱子上下移动的位置。首先我要对实际的子弹做几点改动，使三个方面理想化。第一，机关枪不停摇摆扫射，使得子弹沿着不同的方向射出，而不是仅仅精确地沿着一条直线射出；子弹也可以在装甲板的小孔边沿上发生弹跳。第二，我们要说，虽然这一点不是非常重要，就是子弹都具有相同的速率或者能量。在这种情况下与实际的子弹不同的最重要的理想化之点是，我要求这些子弹都是绝对不可损毁的，使得我们在沙箱里头找到的不是一些铅屑，不是破碎得只有半颗的子弹，我们得到的都是完整的子弹。请想象一些不可摧毁的子弹，或者坚硬的子弹和柔软的挡板。

关于子弹我们要指出的第一点是，这些东西是一整个一整个地到达的。当能量爆发的时候，它集中在一颗子弹上面，砰的一声射出来了。如果你数那些子弹，有一颗、两颗、三颗、四颗子弹；这些东西是一整个一整个地来到的。你假定，在这种情况下，它们有相同的大小，并且当一颗子弹来到的时候，它要么就全部落入沙箱里面，要么就不在沙箱里面。此外，如果我放置两个沙箱，那么我绝不会在同一时刻在这两个沙箱里得到两颗子弹，只要那挺机关枪发射得不太快，并且我在两发子弹之间有足够的时间来分辨。让那挺机关枪射击得很慢，然后非常快地察看那两个沙箱，你绝不会在同一时刻在这两个沙箱里得到两颗子弹，因为一颗子弹是一个单独的可分辨的整体。

现在我要测量的是，在一段时间里，平均有多少子弹到达。比方说

我们守候一小时，然后我们数出有多少子弹落在沙箱里，再取平均。我们取每小时里到达的子弹的数目，然后可以把它称为到达概率，因为它正代表着一颗子弹穿过一条狭缝抵达一个特定沙箱的机会[41]。当我改变距离“x”的时候，到达沙箱里的子弹数目当然会发生变化。在图上，我在距离“x”的方向上标出，如果我把沙箱放在每一个位置上一小时，我会得到的子弹的数目。结果我将会得到一条曲线，看起来多少就像曲线N_{12}那样，因为当沙箱正对着那些小孔时它会得到许多子弹；而如果放得有点偏了，它就不会得到那么多子弹，因为那些子弹需要在小孔的边沿上反弹才会走偏；最后，当沙箱移远时曲线就消失了。曲线看起来像图上的曲线N_{12}那样，我们把当两个小孔都开启时在一小时里得到的子弹数目叫N_{12}，指的是穿过孔1和孔2到达的子弹数目。

我必须提醒你，我在图上标出来的数字并不是整数。它可以是随便多大的数。它可以是在一小时里两颗半子弹，尽管事实上子弹是一整个一整个地到达的。我说的每小时两颗半子弹，指的是如果你等候十小时，你会得到二十五颗子弹，因而平均说来每小时就是两颗半了。我肯定你们都熟知这样的笑话，说的是在美国每个家庭平均有两个半孩子。那并不意味着在任何一个家庭里有半个孩子，孩子都是一整个一整个的。无论如何，当你取每个家庭的平均数时，得到的可以是无论什么样的数字，而对现在这个数字N_{12}也是一样的，它是每小时落到容器里的子弹数目的平均值，不必是整数。我们测量的是到达的概率，它是一个技术性名词，指的是在一段给定长度的时间内到达的平均数目。

最后，如果我们对曲线N_{12}进行分析，我们可以恰好把它解释成两条曲线之和，其中一条曲线我叫作N_1，它代表的是孔2被在前面加上的一小块装甲板封闭的情况，另一条曲线是N_2，它代表的是孔1被封闭，只能够从孔2穿过的数目。现在我们发现了一条十分重要的定律，说的是两个小孔都开启的时候得到的数目，就是穿过孔1到达的数目加上穿

过孔2到达的数目。这一命题，事实上你必须做的全部就是把它们加在一起，我称之为“无干涉”的情况。

$$N_{12}=N_1+N_2\text{（无干涉）}$$

这是对子弹的结果，现在我们重新开始做对子弹做过的事情，这回用的是水波（图29）。现在的源是一大块物料，沉入水中不断摇动。装甲板换成一串驳船或者防波堤，中间开有一道可容水进出的缝隙。或许用细密的波纹比用巨大的海浪来做会更好一些；它听起来更加合理。我用我的手指上下扰动以制造水波，并且我有一小块木头作为一种障碍物，它上面开了一个小孔，可容波纹通过。然后我有第二块障碍板，它上面开有两个小孔；最后有一个探测器。我们用探测器做什么呢？探测器探测的是水晃动的程度。例如，我放一块软木在水面上，然后测量它上下运动的幅度，我们这样测量的事实上就是软木块抖动的能量，它准确地正比于水波所携带的能量。还有另外一点：这种晃动是非常规则和理想的，使得一个一个波纹之间的间隔都是相同的。对水波来说有一点是十分重要的，那就是我们要测量的东西能够有完全任意的大小。我们正在测量波动的强度，或者在软木块上的能量，而如果波动是十分平静的，如果我的手指头仅仅轻微地扰动，那么软木块就只有非常轻微的运动。无论它运动的幅度是多大，它的能量都是同水波的能量成正比的。它可以有任意的大小；它不是一整个一整个地到来的；它完全不是要么就有一个要么就什么也没有。

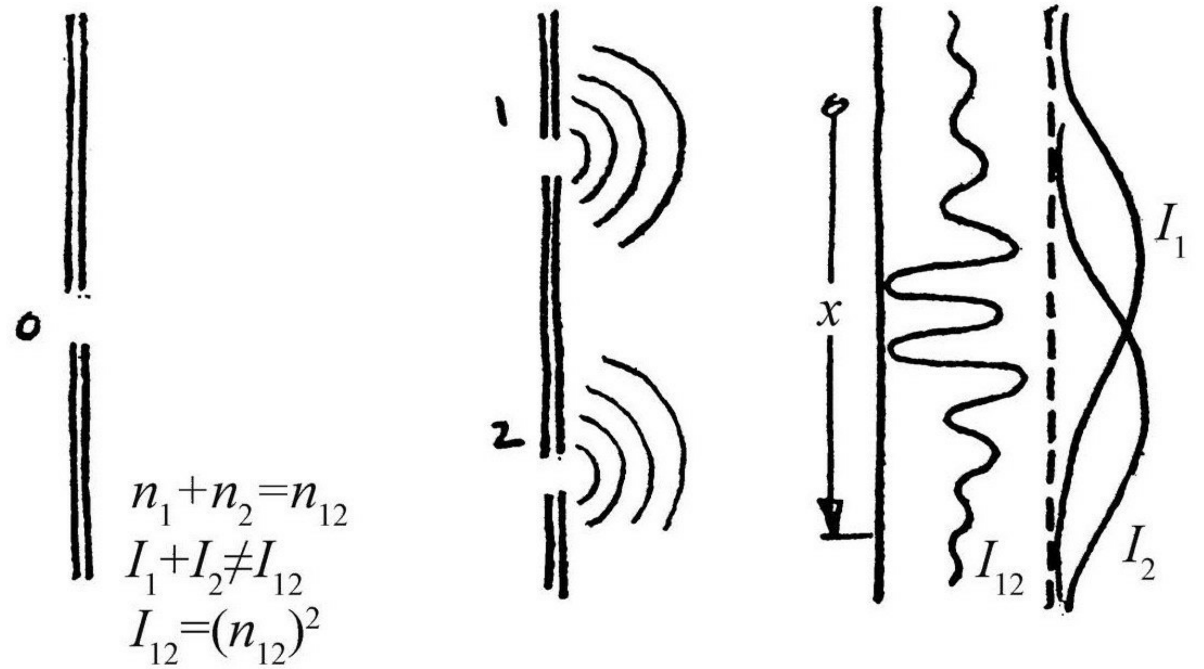


图29

我们正在测量的是波动的强度，精确地讲，是在一点上波动所产生的能量，如果我们测量这一强度会发生什么情况呢？我把这一强度称为“I”[42]，以提醒你它是一种强度而不是任何种类的粒子的数目。在图29上画出的曲线I_{12}是当两个小孔都开启时的结果。它是一条有趣的，看起来颇为复杂的曲线。如果我把探测器先后放在不同的位置上，我们就得到一条以一种特定方式强烈起伏的强度曲线。你们可能熟悉那种结果的原因。原因是到达的波纹有一部分是从孔1传过来的波峰和波谷，有一部分是从孔2传过来的波峰和波谷。如果我们所处的位置刚好在两个小孔的中间，使得从两处传来的波动同时抵达，那么那些波峰会一个加到另一个的顶上，于是就会产生更强烈的抖动。在正中心之处，就会有种猛烈的扰动。另一方面，如果我把探测器移到离孔2比离孔1更远的某一点上，那么从孔2传过来的波动就要比从孔1传过来的波动稍微晚一点，于是当从孔1传来一个波峰的时候，从孔2来的波峰还没有抵达，事实上也许从孔2来的是一个波谷，使得当水要向上涨的时候它又要向下

落，在来自两个小孔的波动的共同影响下，合成起来的结果是它完全不运动，或者实际上什么也没有发生。因此我们在这一处得到的是一个低凹点。然后，如果我们继续把探测器拿远一些，我们就会得到足够的延迟，使得来自两个小孔的波峰又相会在一起了，虽然有一个波峰事实上落后了整整一次波动，这样你就再次得到了一个凸出点，然后再是一个低凹点，一个凸出点，一个低凹点……这都取决于那些波峰和波谷“干涉”[43]的方式。在科学上再一次以一种别致的方式使用干涉这个名词。我们能够有我们称为相长干涉的方式，那指的是两列波动的干涉使得强度增加了的情况。重要的事情是I_{12}不再是I_1加上I_2，而我们说它表示了相长和相消的干涉。我们能够通过封闭孔2得到I_1以及封闭孔1得到I_2来看出I_1和I_2是什么样子。如果我们封闭了一个小孔，所得到的强度简单地就来自一个小孔通过的波，其中没有干涉，这些曲线都在图29上表示出来了。你会注意到I_1与N_1是相同的，而I_2与N_2是相同的，但I_{12}则与N_{12}大不相同。

事实上，曲线I_{12}的数学形式是相当有趣的。真实的情况是，我们把水的高度称为h，那么当两个小孔都开启的时候水的高度h_{12}，等于从孔1开启时你得到的高度h_1，加上从孔2开启时你会得到的高度h_2。那么，如果从孔2来的是一个波谷，水的高度就是负值，会抵消掉从孔1来的高度。你可以通过谈论水的高度来表示它，但结果表明，无论在什么情况下，例如在两个小孔都开启的情况下，强度的关系与高度是不一样的，它是同高度的平方成正比的。正是由于我们处理的是一个数的平方这一事实，我们才会得到这些非常有趣的曲线。

$$h_{12}=h_1+h_2$$

但

$$I_{12}\neq I_1+I_2\text{（干涉）}$$

$$I_{12}=(h_{12})^2$$

$$I_1=(h_1)^2$$

$$I_2=(h_2)^2$$

这是水的情况。现在我们重新开始，这回讲的是电子（图30）。

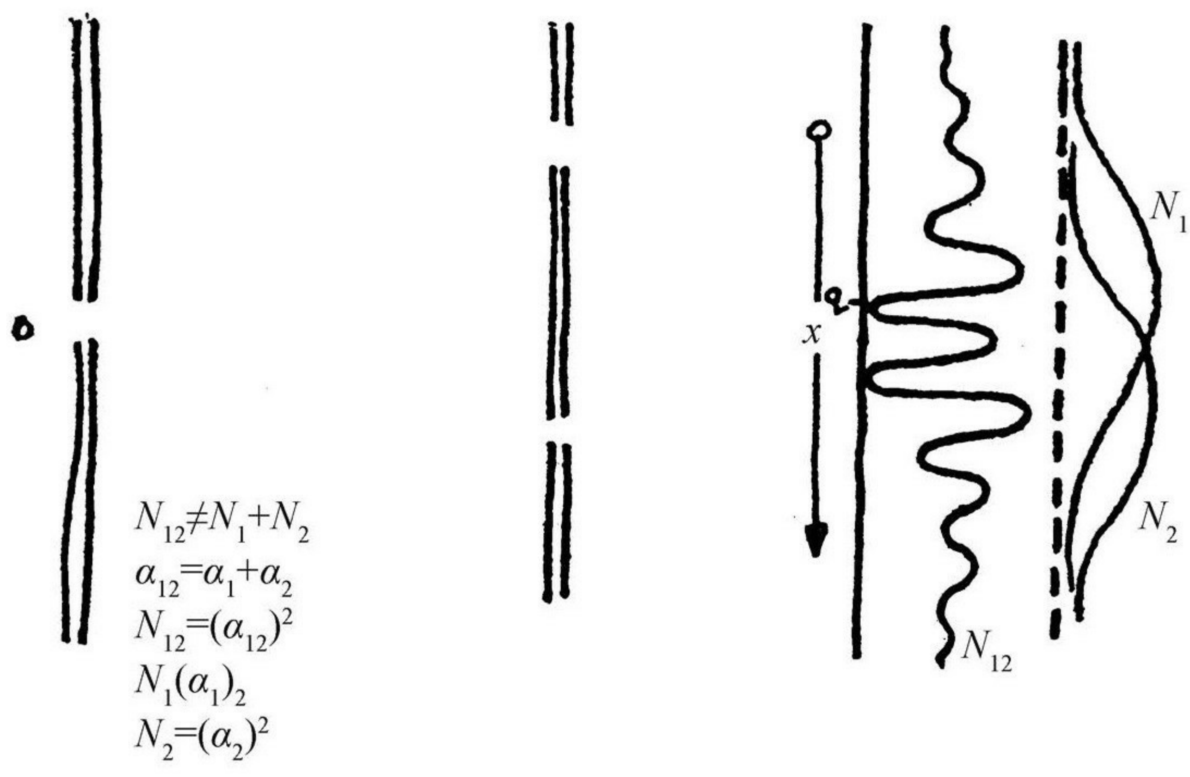


图30

电子的源是一条炽热的灯丝，并用钨板来做挡板，在钨板上钻了一些小孔，探测器用的是任何有足够灵敏度能够检测出一个到达电子的电荷的电学系统，而不管源的能量有多大。如果你愿意的话，我们可以换用光子来代替电子，用黑色的硬纸来代替钨板——事实上黑纸不很理想，因为纸张的纤维使我们得不到界线分明的孔洞，因而我们要用好一点的东西——而探测器则使用一只光电倍增管以探测单个光子的到达。

电子和光子的情况都会发生些什么事呢？我将限于只讲电子的情况，因为光子的情况是完全相同的。

首先，当在电子探测器后面接上一台足够强大的放大器，我们接收到的是咯啦咯啦的声响，是一些整个的信号，绝对是整个的。当咯啦一声来到的时候它有某种大小，而声响的大小总是一样的。如果你把电子的源调节得弱一些，那些咯啦声会变得稀疏一些，但它们仍然是同样大小的声响。如果你把源调节得很强，信号会来得很快，以至于放大器被堵塞住了。所以你要把它调节得足够弱，使得对于你的探测器所使用的机制说来，不出现太频密的信号。其次，如果你放另一台探测器在一个不同的位置上，然后倾听两者的信号，你绝不会在同一时刻听到两声咯啦，至少是在源足够弱并且你测量时间的精密度足够高的情况下。如果你把源的强度降下来，使得电子到来得少并且一个一个隔得很开，它们就绝不会一次在两个探测器里给出一声咯拉。那意味着电子是整个地到达的——它有确定的大小，并且在一个时刻仅仅来到一处位置上。好了，电子或者光子都是一整个一整个地到达的了。因此我们能够做的事，同我们对子弹所做过的事是一样的；我们能够测量到达的概率。我们要做的是把探测器放到各个不同的位置上——实际上如果我们不怕花钱的话，我们可以同时用许多探测器放满接收电子的屏板，就可以在瞬时间得到整条曲线——但我们的方法是把探测器先后放到各个位置上，在每一处停留譬如一小时，然后我们测量在一小时结束时有多少电子抵达，我们再对它平均。我们得到的到达电子的数目是怎样的呢？是与用子弹做实验时所得到的N_{12}那种类型的曲线吗？图30表示出我们所得到的N_{12}曲线是怎样的，那是我们在两个小孔都开启的时候所得到的。那是自然界的现象，它所产生的曲线与你在水波的干涉中所得到的相同。它所产生的曲线代表什么？它代表的不是波动的能量，而是这些一颗一颗的电子当中的一个的到达概率。

其中的数学是简单的。你把I换成了N，那么你也要把h换成别的什

么东西，它是一个新的量——它不是什么东西的高度——因而我们发明了一个“a”，我们称之为概率振幅，因为我们不知道它是什么意思。在这种情况下，a_1是电子通过孔1到达的概率振幅，而a_2是电子通过孔2到达的概率振幅。为了得到总的概率振幅，你要把两者加在一起再平方。这是从对波动的描写那里直接模仿过来的，由于我们要得到同样的曲线，因而我们也要用同样的数学方法。

然而，我应当对干涉再讲清楚一点。我还没有说如果我们封闭了小孔当中的一个，会发生些什么事。让我们假定电子是穿过一个小孔或者穿过另一个小孔来到的，并尝试这样来分析这条有趣的曲线。我们先封闭一个孔，然后测量有多少电子穿过孔1来到，于是我们就得到了一条简单的曲线N_1。或者我们封闭另一个孔，然后测量有多少电子穿过孔2来到，于是我们就得到了另一条曲线N_2。但这两种情况加在一起并不给出与N_1+N_2相同的曲线；它确实表现出干涉。事实上，数学关系是由一道有趣的公式给出的，即到达概率是一个振幅的平方，而这个振幅本身又是两部分的和，$N_{12}=（a_1+a_2）^2$。问题是它怎么能够当电子通过孔1时有一种形式的分布，而当电子通过孔2时又会有另一种形式的分布，但当两个小孔都开启的时候你所得到分布的并不是两者之和。例如，如果当两个小孔都开启时我把探测器放在图上的q点，那么实际上我什么也没有接收到，虽然如果我封上两个小孔当中的一个，我会得到许多电子，并且如果我封上另一个小孔，我也得到不少电子。我让两个小孔都打开的时候什么也得不到；我让它们通过两个小孔过来，而它们却一颗也过不来。或者我们再取图上的中心点，你能够证明在那一点上的曲线高于两条单个小孔的曲线之和。为了解释这一现象，你也许会这样想，如果你足够聪明你就能够论证说，那些电子会以某种方式在那些小孔前后来回穿插，或者它们会做某种更加复杂的事情，或者一个电子分裂成两半然后各自穿过一个小孔，或者类似的什么东西。然而，没有人成功地提出过令人满意的解释，因为所用到的数学终究是十分简单的，曲线

也是十分简单的（图30）。

那么，我要总结说，电子是一整个一整个地到来的，就像粒子那样，但这些一整个一整个地到达的概率，是如同波动的强度那样决定的。正是在这种意义上说，电子的行为有时候像粒子而有时候像波。它在同一时间表现出两种不同的行为（图31）。

我要讲的都讲了。我还可以给出一种数学描述，告诉你们怎么样求出电子在任何状况下的到达概率，而在原理上就是这一讲的结束了——只是还有涉及自然界以这种方式运作的几个微妙之处。有几件特殊的事情，而我想要讨论这些特殊性，因为它们在这方面不一定是不言而喻的。

为了讨论这些微妙之处，我们从讨论一条命题开始，我们本来会以为它是合理的，因为这些东西是一整个一整个的。在电子的情况下，由于到来的总是一个完整的电子，一种明显合理的假定就是，一个电子要么就通过孔1，要么就通过孔2。看起来非常明显，如果它是一整个的话，它就不可能做出另外的行为。我要来讨论这条命题，因而我给它起个名称，我把它叫作“命题A”。

TABLE

BULLETS	WATER WAVES	ELECTRONS (PHOTONS)
COME IN LUMPS	CAN HAVE ANY SIZE	COME IN LUMPS
MEASURE PROBABILITY OF ARRIVAL	MEASURE INTENSITY OF WAVES	MEASURE PROBABILITY OF ARRIVAL
$N_{12} = N_1 + N_2$	$I_{12} \neq I_1 + I_2$	$N_{12} \neq N_1 + N_2$
NO INTERFERENCE	SHOWS INTERFERENCE	SHOWS INTERFERENCE

表

子弹	水波	电子（光子）
一整个一整个地到达	可以有任意大小	一整个一整个地到达
测量到达的概率	测量波的强度	测量到达的概率
$N_{12}=N_1+N_2$	$I_{12}\neq I_1+I_2$	$N_{12}\neq N_1+N_2$
无干涉	表现出干涉	表现出干涉

图31

Proposition. A.

Either an electron goes through hole N°1 or it goes through hole N°2.

<u>命题A</u>

一个电子要么通过孔1，要么通过孔2

现在我们已经初步讨论过当命题A成立的时候会发生些什么事。假若一个电子真的是要么通过孔1，要么通过孔2，那么到达的电子总数应当可以分成两部分贡献之和。到达的总数将会是通过孔1来的数目加上通过孔2来的数目。由于结果得到的曲线不能够按这样一种直接的方式简单地分析成两部分之和，并且由于测定在如果只有一个小孔或者另一个小孔也开启的情况下有多少电子到达的实验并不给出总数是这两部分之和的结果，那么我们显然要下结论说这条命题是错的了。如果电子要么就通过孔1要么就通过孔2是不对的，或许它自己暂时分成两半或者别的什么东西，那么命题A错了。那是逻辑。不幸的是，或者说幸好我们能够通过实验来检验逻辑。我们要查明电子要么就通过孔1要么就通过孔2究竟对不对，或者也许电子会同时穿过两个小孔并且暂时分裂开来，或者别的什么东西。

我们要做的只是观察它们。并且为了观察它们，我们需要光照。因而我们在两个小孔的后面放上一个非常强的光源。光会被电子散射，从电子处反弹开来，因而如果光足够强，当电子通过的时候你就能够看到它们。那么，我们站好了，然后我们注视着当一颗电子被计数的时候我们所看到的，或者在电子被计数之前已经看到了的，是不是在孔1的后

面发出一下闪光或者在孔2的后面发出一下闪光，或者也许在每一处同时发出一种一半的闪光。现在我们要靠目测来查明它是怎样过来的。我们点着那盏灯然后注视着，我们发现每一次在探测器上记下一次数的时候，我们看到或者在孔1的后面发出一下闪光或者在孔2的后面发出一下闪光。我们所看到的，百分之一百是电子整个地通过孔1或者通过孔2来到——当我们注视着它从那里过来的时候就是这样。一个佯谬。

让我们在这里把自然界逼到一种困难的境地，我会向你们说明我们要做些什么。我们要让灯一直亮着，然后我们守候着并且数出有多少颗电子穿过来。我们分开两栏来记录，一栏记的是从孔1过来的，一栏记的是从孔2过来的，然后当每一颗电子到达探测器的时候，我们会在相应的那一栏里记下它是从哪一个小孔过来的。当我们把从探测器在不同位置上时孔1那一栏得到的记录通通加在一起，看起来会像什么样子呢？如果我在孔1的后面守候，我会看到什么呢？我看到的是曲线N_1（图30）。那一栏的分布正如我们所想象的把孔2封闭起来时的那样，无论我们是否在注视都是完全一样的。如果我们封闭了孔2，我们得到的分布是与我们守候着孔1所看见的电子到来的分布一样的；类似地，通过孔2到达的电子数目也是一条简单的曲线N_2。现在看，总的到达数目应当是总计的数目。它应当是数目N_1加上数目N_2，因为每一颗过来的电子都已经核对过了，它不是记在栏1上就是记在栏2上。总的到达数目绝对应当是这两者之和。它应当按N_1+N_2分布。但我说过了，它是按曲线N_{12}分布的。不，它是按N_1+N_2分布的。当然，它真的是那样；它应当是那样而它的确是那样的。如果我们把有光照情况下的结果用加了一撇的符号表示，那么我们发现N_1'实际上同没有光照时的N_1是一样的，而N_2'几乎是同N_2是一样的。但当灯点亮并且两个小孔都开启的时候我们看到的数目N_{12}'等于我们看到通过孔1过来的数目加上我们看到通过孔2过来的数目。这是当有光照的情况下我们得到的结果。当我点亮或者熄灭光源的时候，会得到不同的结果。如果我点亮光源，分布曲线

是N_1+N_2；如果我熄灭光源，分布曲线是N_{12}；再点亮光源，它又是N_1+N_2了。因而你看看，自然界陷入困境了！那么，我们可以说，光照影响了结果。在有光照的时候，你会得到与没有光照时不同的结果。你也可以说光照影响了电子的行为。如果你通过这一实验来谈论电子的运动，虽然有点不大精确，你也可以说光照影响了运动，使得那些本来会到达曲线极大值处的电子，因为受到光照的某种影响而偏离了或者错过了，结果落到了极小值处，于是就使得曲线平滑了，产生形状简单得多的曲线N_1+N_2。

电子是非常娇嫩的。当你们看着一个棒球的时候，你是否用光照着它，不会造成什么差别，棒球仍然沿着一样的路径运动。但当你把光照到一颗电子上时，光使电子受到一下打击，令本来要做一件事的电子改做了另外的事，因为你用光照着它，而对电子来说光是那么强烈。假定我们把光源调节得越来越弱，直到它十分暗淡，然后我们使用能够看到十分暗淡的光的精细探测器，用一束暗淡的光来观察。当光越来越暗淡的时候，你不能够期望非常非常弱的光会那样完全地影响电子，使其分布百分之一百地从N_{12}变成N_1+N_2。当光照一步一步减弱时，它应当越来越像完全没有光照。那么一条曲线怎么样变成另一条呢？但光当然不像水波。光也以一种类似粒子的本性来到，这些粒子叫作光子，当你减弱光的强度的时候，你并没有减弱效应的性质，你只是减少从光源发出的光子的数目。当我减弱光照的时候，我得到越来越少的光子。我能够从电子散射开来的，至少是一颗光子，如果我只有太少的光子，那么当没有光子过来的时候，电子会直接穿过去，在这种情况下我们就看不到那些电子了。结果是，当用非常弱的光照时，我在记录上必须加上标上“没看见”的第三栏。当光照非常强的时候在这一栏里只有很少的记录，而当光照非常弱的时候大多数电子都落到这里了。因而这里有三栏：孔1、孔2和没看见。你们能够想得出发生了什么事。我确实看到的电子是按照曲线N_1+N_2分布的，我没有看到的电子是按照曲线N_{12}分布

的，当我把光照调节得越来越弱的时候，我看到的电子越来越少，同时有越来越多的电子看不到了。在任何情况下实际的曲线是两者的一种混合，因而当光照减弱时，分布曲线就以一种连续的方式变得越来越像N_{12}了。

你也许会提出许多种能够查明电子从哪一个小孔穿过的不同方法，但我不能够在这里一一讨论了。然而，结果总是表明，不可能以任何方式布置光照，使得你能够说出电子从哪一个小孔穿过而不影响电子到达的分布样式，不破坏干涉图样。不仅是光照，而且任何别的东西——不管你用的是什么东西，在原则上都不可能做到这一点。如果你愿意的话，你能够发明出许多方法来说出电子从哪一个小孔穿过，结果表明它总是从这一个或者那一个小孔穿过。但是如果你试图造出那样的仪器，使得它同时并不扰动电子的运动，那么结果就是你不再能够说出电子从哪一个小孔穿过，并且你会再次得到一种复杂的结果。

海森伯在发现量子力学的定律时指出，他所发现的自然界新定律，仅当对我们的实验能力给出一些基本的限制时才能保持融洽一致，而这些限制是先前没有认识到的。换句话说，你不能够在实验上想要多精细就做得到多精细。海森伯提出了他的不确定原理，用我们自己的实验条件去表达是这样的。（他用另一种方式来表达，但两者是完全等同的，并且能够从其中任何一种陈述得出另一种陈述。）“不可能设计出无论什么样的装置，来确定电子从哪一个小孔穿过，而不同时对电子施加足够的扰动，从而破坏其干涉图样。”没有人发明出能够绕过这个困难的一种设备。我肯定你们都在跃跃欲试，想要发明检测电子从哪一个小孔穿过的方法；但如果对其中的每一种方法经过仔细的分析，你将会发现它总会有某种毛病。你也许设想你能够不扰动电子就做得到，但结果表明总是有毛病，而你总是能够找出用来确定电子从哪一个小孔穿过的仪器所产生的扰动导致分布样式发生变化的原因。

这是自然界的基本特性，并且告诉了我们关于每一件东西的某种性质。假若明天发现了一种新的粒子，K子——实际上K子即K介子早已发现，但为了给它一个名称让我们这样叫它——并且我用K子去同电子相互作用以确定电子从哪一个小孔穿过。我希望我事先已经知道，这种新粒子的行为不是那种可以用来说出电子从哪一个小孔过来而同时不对电子产生扰动，并且使得分布样式从干涉变成无干涉的类型。因而，不确定原理可以用来作为一条普遍的原则，事先就猜到一些未知对象的特性。它们是受到它们类似本性的限制的。

让我们回到我们的命题A——“电子必定要么就通过这一个小孔，要么就通过那一个小孔”。它对不对？物理学家们有一种方法避免存在着的陷阱。他们采取了如下一些思维规则。如果你有一套装置，能够用来说出电子从哪一个小孔过来（你的确能够有这样一套装置），那么你就能够说出它从这一个小孔还是从另一个小孔过来。电子确实如此，当你在注视着它的时候，它总是从这一个小孔或者从那一个小孔过来。但当你没有用仪器去确定电子从哪一个小孔过来的时候，那么你就不能够说它要么从这一个小孔要么就从那一个小孔过来。（你总是能够那样说它——只要你立刻停止思维并且不由此做出推论来。而物理学家们宁愿不那么说，也不愿在那一刻停止思维。）当你没有在注视的时候下结论说它要么就从这一个小孔要么就从那一个小孔过来，就会产生预言上的错误。如果我们想要说明大自然的现象的话，这就是我们必须走的逻辑上的钢丝。

我正在谈论的这一命题是有普遍意义的。它不仅对两个小孔成立，而且是一条普遍的命题，它可以做如下的陈述。在一个理想实验中的任何事件发生的概率，都是某个东西的平方，在这一情况下我称之为“a”，即概率振幅。而所谓的理想实验，指的是其中每一样东西都尽可能地规定好了的实验。当一个事件可能以几种不同的方式发生的时候，它的概率振幅，这个数“a”，乃是每一种不同的可能方式的“a”之

和。如果做了一个能够确定采取哪一种可能的发生方式的实验，事件的概率就被改变了；它变成每一种不同的可能方式的概率之和。那就是，你失去了干涉。

现在的问题是，它真正是怎么样运作的呢？实际上是什么样的机制导致这种事情的产生呢？没有人知道这个机制。没有人能够对这种现象给出比我刚才给出的更加深入的说明；而我做的仅仅是一种描述。他们能够给出一种意义更广泛的说明，指的是他们能够给出更多的例子，表明怎么样不可能说出电子穿过哪一个小孔，而不在同时破坏掉干涉图样。他们能够给出更加广泛的一类实验，而不只是双缝干涉实验。但那不过是重复着同样的东西进行推理。那样做只是更广了，而一点也没有更加深入。数学能够被做得更加精确；你能够注意到概率振幅是复数而不是实数，并且还有两三个次要之点，那并不会影响主要的概念。而我所描述的就是那深奥的秘诀，而且今天没有谁能够给出更加深入的说明。

我们迄今计算的都是一颗电子到达的概率。问题是有没有任何一种办法去确定单个电子真正到达的位置？当然我们乐于运用概率论，那是在非常复杂的状况下计算成败机遇的一种方法。我们抛出一颗骰子到空中，然后它会受到各种不同阻力的影响，受到各个原子和所有那些复杂作用的支配，我们完全愿意承认我们对其中的细节所知无多，不足以做出一种决断的预言；因而我们限于计算出事情会按照这一方式或者那一方式发生的机会。但我们在这里所讲的，不是自始至终都是可能性吗，在物理学的基本定律里不都是一些机遇吗？

假定我有一个实验，它设置成在没有光照的时候我能得到干涉的现象。然后我说，即使有光照我也不能够预言一颗电子会通过哪一个小孔过来。我只知道当每一次我注视它的时候它会从这一个或者那一个小孔过来：没有办法事先预言它会从哪一个小孔过来。换句话说，未来是不

可预测的。不可能事先凭任何资料以任何方式预言那个东西会走哪一个小孔，或者会在哪一个小孔后面看到它。那意味着物理学已经以某种方式放弃了对状况知道得足够多就能够预言下面将会发生什么事的原则——如果物理学的本来目的是这样的话，而原来每个人都认为是这样的。这里是那些状况：电子源、强光源、开了两个小孔的钨板，告诉我，在哪一个小孔后面我会看到那颗电子？一种理论认为，你不能够说出你正在观察的电子会穿过哪一个小孔的原因是，它是由某种潜藏在电子源里的非常复杂的东西决定的：它有一些内部的转轮、内部的齿轮，如此等等，它们决定它会穿过哪一个小孔；那是一种一半对一半的可能性，因为像一颗骰子一样，它是随机设定的；现在的物理学是不完备的，如果我得到一套足够完备的物理学，那么我就能够预言它会从哪一个小孔过来了。那就是所谓隐变量理论。那不可能是一种真正的理论；我们不可能做出预言，并不是由于缺乏详细了解的缘故。

我说过如果我不用光照就会得到干涉图样。如果我有一种情况，在其中我得到了干涉图样，那么就不可能通过说出电子从孔1还是孔2穿过的方式来进行分析，因为作为概率分布的干涉曲线是那么简单，它在数学上是同其他两条曲线完全不同的东西。如果我们曾经在有光照的情况下，有可能判定电子从哪一个小孔过来，那么有或者没有光照对它来说都是无所谓了。无论在我们观察的电子源里有怎么样的齿轮机构，并且它允许我们说出那东西是穿过孔1还是孔2过来，我们本来都可以在没有光照的情况下观察到，因而我们本来是可以说出在没有光照的情况下，每一颗电子是从哪一个小孔过来的。但如果我做得到这一点，结果得到的曲线应当代表穿过孔1和穿过孔2过来的电子数目之和，但它并不是这样。那么，无论是否有光照，在安排好实验使得它能够产生没有光照的干涉结果的任何状况下，都必定不可能事先有关于电子会从哪里通过的任何资料。这并不是由于我们对那些使得自然界表现出概率性质的内部机构和内部复杂性的无知。那看起来在一定程度上是固有的性质。有人就此这样说过——“甚至自然界自身也不知道电子要走哪一条路”。

一位哲学家有一次说过："科学真正存在所必需的，是在同样的条件下总是产生同样的结果。"好吧，它们却不是这样。你设置好了环境状况，每一次都有相同的条件，而你并不能预测在哪一个小孔的后面会看到电子。可是科学照样向前发展，尽管相同的条件不一定产生相同的结果。我们不能够精确地预言会发生什么事，那使得我们不愉快。顺带说说，你能够想出一种非常严重和危险的状况，并且人类必定可以做到，而你仍然不能预测。例如我们可以炮制出一套方案——我们最好不那样做，但我们是可以做得到的——在方案中我们设置了一只光电管，现在有一颗电子穿过来了，如果我们在小孔1的后面看到了电子，它就会触发原子弹并且引发第三次世界大战，而如果我们在小孔2的后面看到了电子，我们就进行一些和平试探因而把战争往后延缓。那么，人类的未来就会取决于某种科学所不能预言的东西了。未来是不可预测的。

什么是"科学真正存在"所必需的？自然界的哪些特征是或者不是由一些浮夸不实的预设条件来决定的呢？它们总是由我们运作的物料，由自然界本身来决定的。我们注视着，并且看到了我们所要寻找的东西，而且我们不能够事先成功地说出要发生的事情像个什么样子。结果表明，最合理的可能性并不是那种情况。如果科学要进步，我们需要的是实验的能力，诚实地报告出结果——结果的报告必须不受有些人说他们喜欢结果是什么样子的影响；并且最重要的是需要解释所得到结果的智慧。关于这种智慧的一个重要之点是，不应当事先肯定必然会发生什么事情。可以有成见，说"那是非常不可能的；我不喜欢那样"。成见是同绝对肯定不同的。我不是指那种绝对的成见，而是指一种偏见。若你仅仅带着偏见，那并不要紧，因为如果你的偏见错了，种种实验结果的不断积累会不断地烦扰你，直到它们不能被置之不理为止。只有你事先绝对地肯定科学要有某些预设条件，才能够对它们置之不理。事实上，科学真正存在所必需的，是在思想上不承认自然界必须满足像我们的哲学家所主张的那些先入为主的要求。

第7章
寻找新定律

严格说来，我在这一讲里想要谈的不是物理定律的本性。也许有人想，人家在谈论物理定律的本性时，就是在谈论大自然了；但我并不想去谈论大自然，而是谈论我们现在对于自然界有怎么样的关系。我要告诉你们，我们认为我们知道了些什么，有哪些是猜测的，以及我们怎样进行猜想。有人希望，如果我讲下去，我就会逐步说明怎样猜测出一条定律，最后真的为你们建立一条新的定律，那就再好不过了。然而，我不知道我能不能做到那一点。

首先我想要告诉你们，现在的状况是怎样的，我们关于物理学知道了些什么。你们也许想，我已经告诉过你们一切事情了，因为在前面几章里我已经告诉你们所有已知的重大原理。但那些原理必然是关于某些东西的原理；能量守恒原理是同某些东西的能量有关的，量子力学定律是关于某些东西的量子力学定律——并且所有这些原理加在一起仍然不能够告诉我们，我们正在谈论的自然界都包含着哪些种类的对象。那么，我将要告诉你们一点关于这些原理被假定为行得通的所有东西。

首先有物质——并且，令人惊奇的是，宇宙间的所有物质都是相同的。已经知道组成各个恒星的物质是与地球上的物质相同的。由那些恒星发射的光的特征，给出了一种可供鉴别的指纹，我们通过它就可以说出在那里有一些与地球上相同种类的原子。看来生物和非生物都有相同种类的原子；青蛙和石头都由同样一些原料做成，只是它们的排列方式不同而已。因此就使得我们的问题简单一些；我们除了原子之外没有别的东西，到处都是一样的。

各种原子看来又都由同样一些普遍的组分粒子组成。它们当中有一个原子核，以及有一些电子环绕在核的周围。我们能够写出一张我们以为我们知道了的，组成世界的零件的清单（图32）。

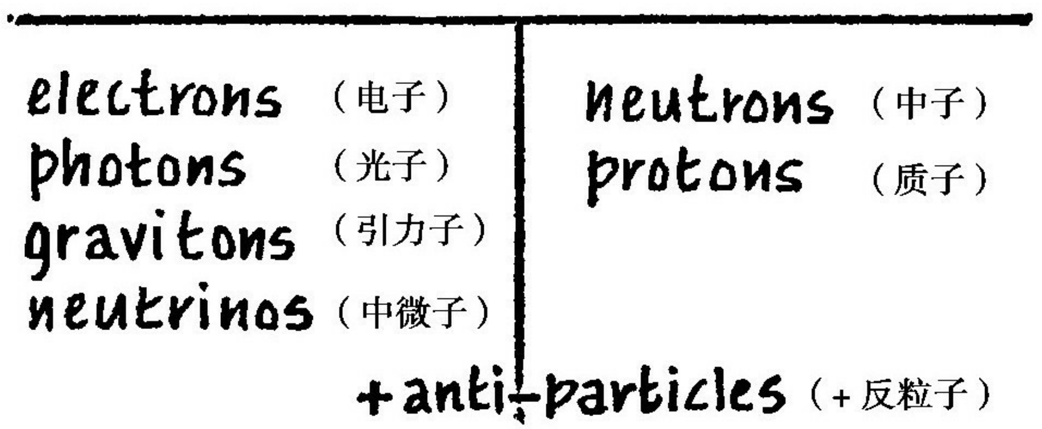


图32

首先是电子，它们是在原子外围的粒子。然后是核，但今天了解到那些核本身又是由两种别的东西，即叫作中子和质子的两种粒子组成的。我们要观察星星，又要观察原子，而它们发射光，光本身又是由叫作光子的粒子来描述的。开始时我们谈到过引力；并且如果量子理论是正确的话，那么就应当有引力的某种波动，它的行为也像粒子，并且把它们叫作引力子。如果你不相信那个东西，你就叫它作引力好了。最后，我已经提到过什么是β衰变，在这种衰变过程中一颗中子蜕变为一颗质子、一颗电子和一颗中微子——或者实际上是一颗反中微子；这里就有了另一种粒子，一颗中微子。在我这里列出的所有这些粒子之外，当然还有所有不同种类的反粒子；那只是一种一张口就把粒子的数目加倍的陈述，并没有什么复杂之处。

有了我列出的这些粒子，就可以解释所有低能量现象，事实上，迄今为止我们所知道的、在宇宙中到处发生的一切普通现象，也有一些例

外，那是这里那里存在着的某些能量非常高的粒子的所作所为，以及在实验室里我们已经能够去做的某些特殊的事情。但如果我们不计这些特殊情况，那么所有日常现象都能够用这些粒子的作用和运动去说明。例如，生命本身原则上被设想能够用原子的运动来说明，而那些原子又是由中子、质子和电子组成的。我必须立刻指出，当我们说在原则上说明它的时候，我们的意思仅仅是，如果我们能够弄明白每一件事情，就会发现，为了说明生命现象，在物理学上并不需要发现什么新的东西。另一个例子是，恒星发射出能量的事实，太阳能或者恒星的能量，大概也可以用这些粒子之间的核相互作用去说明。原子行为方式的所有类型的细节，都可以用这种模型来精确地描述，至少到目前为止我们所知道的是这样。事实上，我可以说，在今天我们所知道的各种现象的范围内，没有什么现象是我们肯定不能够按照这种方式来说明的，或者甚至也没有什么现象还存在着什么更加深奥的机制。

从前并不总是有可能做到这一点。例如，有一种现象叫作超导电性即超导，它的意思是金属在低温下不受阻碍地导电。一开始并不明显晓得，这种现象乃是已知诸定律的一种结果。现在已经对它做过透彻的思考，看到了它事实上完全可以用我们现在掌握的知识来说明。还有像“超感知觉”[44]等别的一些现象，是不能够用物理学知识来说明的。然而那种现象尚未真正被确认，因而我们不能确信其存在。当然，如果它能够被证实，那么就会证明物理学是不完善的，因此物理学家们对于它是否真有其事，感到极为关心。有许多实验表明了它是行不通的。同样的事情还有占星术的影响。如果星相真的会影响到哪一天是看牙医的吉日良辰——在美国我们就有这一类的占星术——那么物理学理论就会被证明为错的，因为没有一种原则上可被理解的、从粒子的行为出发的机制能够说明这种事情。这就是在科学家当中对于那些观念总是抱着怀疑态度的原因。

另一方面，关于催眠术的情形，起先看来也像是不可能的，那时候

它的描述尚不完善。现在关于它知道得多一些了，认识到那不是绝对不可能的，通过正规的心理学手段的确可以诱发催眠效应，虽然还不那么清楚其中的道理；它显然并不需要某种特别的新型的力。

今天，虽然我们关于在原子的核以外的区域发生了些什么的理论看来是很精密和完善了，这指的是只要给我们充分的时间，就能够计算出这方面的任何问题，达到测量所做得到的精确度。但研究的结果表明，我们对组成原子核的中子和质子之间的力还不完全清楚，并且理解得也很差。我的意思是，我们今天不那么理解中子和质子之间的力，如果你给我充分的时间和强大的计算机要我去计算，我还不能精确地算出碳核的能级，或者类似的什么东西。我们知道得不够多。虽然我们能够计算出原子里的外部电子的能级，但我们还不能对原子核也这样做，因为核力还没有得到很好的理解。

为了在这方面做出更多的发现，实验家们要去研究在非常高的能量下的现象。他们在非常高的能量下让中子和质子撞击到一起，以产生一些奇特的东西，然后我们希望通过研究这些奇特的东西能够更好地理解中子和质子之间的力。这些实验已经打开了潘多拉的盒子！虽然我们起先真的想要的是对中子和质子之间的力得到一种更好的认识，但当我们让这些东西强烈地撞击到一起的时候，我们发现了世界上存在着更多的粒子。事实上在尝试理解这些力的过程中，我们挖掘出了五十种以上的粒子[45]；我们将把这五十种其他粒子放到中子/质子那一栏（图33）里，因为它们与中子和质子相互作用以及中子和质子之间的力有关系。

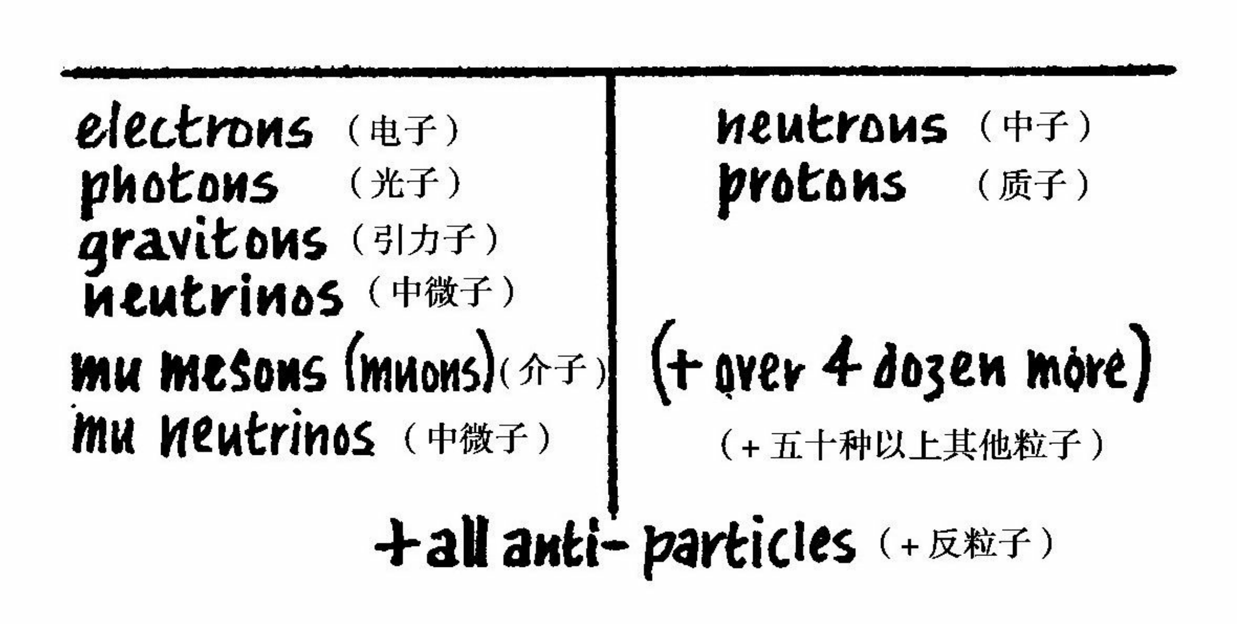


图33

此外，当实验家们在这个泥淖里深掘的时候，还挖出了两种同核力问题无关的粒子。其中之一叫作μ介子或者μ子，还有就是同它相伴的一种中微子。有两种中微子，一种伴随着电子，另一种伴随着μ子。顺便说一下，非常令人惊奇的是，现在我们知道了有关μ子和它的中微子的所有定律，就我们能够用实验检验的而言，定律表明它们的行为与电子及其中微子一模一样，只是除了μ子比电子重207倍之外；但那是在那些粒子之间已知的唯一差别，真是奇怪。其余的五十种粒子真是一个令人生畏的阵势——还要加上它们的反粒子。新的粒子有各种不同的名称，介子，π，K，Λ，Σ。叫作什么都不会引起任何差别，五十种粒子得起多么多的名称啊！但我们弄清楚了，这些粒子是组成几个家族的，那多少给了我们一点帮助。实际上在这些所谓粒子中间，有一部分只存活一段很短的时间，由此引起了关于事实上是否有可能确定它们真正存在的争辩，但我不介入这场争论里去。

为了讲解粒子家族的概念，我举一个中子和一个质子为例子。中子和质子具有同样的质量，相差只在千分之一左右以内。质子是1836，中

子是1839，都是以电子的质量为单位表示。更加令人惊奇的是关于核力的事实，核力即在原子核内部的强作用力，两个质子之间的力与一个质子和一个中子之间的力是一样的，并且也与一个中子和一个中子之间的力相同。换句话说，从强核力的角度看，你说不出一个质子同一个中子有什么差别。因而这里有一条守恒定律；只要你限于谈论强作用力，中子可以用来替代质子而不引起任何改变。但如果你把一个中子换成一个质子，你就会有巨大的差别，因为质子携带一份电荷而中子没有。通过电学测量你能够立即看到一个质子和一个中子之间的差别，因而这种对称性，这种你可以用一个代替另一个的对称性，我们称为一种近似对称性。对核力的强相互作用它是对的，但在自然界的任何更深入的意义上它是不对的，因为它对电磁力是不成立的。这就是所谓部分对称性，而我们需要同这些部分对称性做斗争。

现在粒子家族的概念已经扩充了，弄明白了中子和质子那种类型的替换可以推广到更广泛范围上的粒子。但其精确度则降低了。中子总可以用来替代质子这一陈述仅仅是近似的——它对电磁作用是不成立的——但已经发现的更广泛的这一类替换，可能只有更差的对称性。然而，这一类部分对称性有助于把各种粒子编成一个个家族，从而找出族谱里面空缺的位置，帮助我们发现新的一些粒子。

这一类游戏，或者讲这种家族关系的约略猜测等，演示了在我们还没有真正发现大自然的某种深入的和基本的定律之前的一种预备性的试探方法。在从前科学发展的历史里，这一类例子是非常重要的。例如，门捷列夫[46]关于元素周期表的发现就类似于这场游戏。它是第一步；而用原子理论给出元素周期表的来由的完整描述则要晚得多。同样，对核能级知识组织整理的工作是由梅厄和简森[47]多年前做出的，他们由此提出了所谓核的壳层模型。物理学表现得像是一场类比的游戏，依靠着某些近似性的猜测来降低问题的复杂性。

除了这些粒子之外，我们还有先前谈到过的所有原理，对称性原理、相对性原理，以及那些必定表现出量子力学性质的行为的东西；最后，它同相对论结合起来，所有的守恒定律都必须是定域的。

如果我们把所有这些原理摆到一起，我们发现它们的数目太多了。它们彼此之间并不融洽。看来如果我们取量子力学，加上相对论，加上每一样东西都要是定域的命题，再加上几条默认的假设，我们就会陷入互相矛盾的境地，因为当我们计算不同东西的时候我们得到的是无穷大，而如果得到无穷大我们怎么能够说这是同自然界符合的呢？我上面提到的那些默认的假设的一个例子是如下的一条命题，我们太过于偏于己见，总是要理解其真正的含义。如果你计算每一种概率实现的机会，比方说它有50%发生的概率，它有25%发生的概率，等等，这些概率加起来应当得到1。我们想如果你加齐了所有的可能性，你应当得到100%的概率。那看来是合理的，但合理的东西常常会出问题。另一条这样的命题是，某种东西的能量必定总是正的——它不能够是负的。另有一条命题可能在我们遇到不一致性之前就加进去了，它叫作因果性，它的意思有点像说结果不能够出现在原因之前那样的概念。实际上没有人做出过一个模型是不顾关于概率的命题，或者不顾因果性的，而因果性也是同量子力学、相对论、定域性等相融洽的。因而我们真的不准确地知道，我们的各项假设里的什么东西使我们得出产生无限大的困难。这是一个很好的问题！然而，我们弄明白了，借助于某种生硬的技巧，有可能把那些无限大藏到地毯底下，而暂时我们仍然能够继续做计算。

好了，那就是现今的状况。现在我要讨论的是我们怎么样去寻找一条新的定律。

一般说来，我们是通过以下的步骤来寻找一条新定律的。首先我们对它进行猜想。然后我们计算出从这种猜想出发得到的结果，看看我们猜想的这条定律是准确的话，会有什么样的后果。我们再把计算的结果

同自然界比较，把计算结果直接同观察数据比较，看看它对不对。如果它同实验不符合，它就是错的。这样一条简单的陈述，乃是科学的关键。你的猜想有多漂亮，都不会有什么差别。你有多帅，是谁做出这个猜想，或者他叫什么名字，也不会有什么差别——如果它不符合实验，它就是错的。这就是关于它所要说的一切。我们真的要检查一下，以便确定它是错了，因为无论是谁做实验都会有报告得不准确的时候，或者在实验中有某些没有注意到的性质，混入某些尘埃或者别的什么东西；或者计算出结果的那个人，即使他就是提出猜想的那个人，也可能在分析当中发生某种错误。这些都是明显的值得注意之点，因而当我说如果它不符合实验它就错了的时候，我指的是在实验经过检查和计算经过复核之后，并且要对事情来回琢磨几次，以肯定所得到的结果确是那种猜想的逻辑推论，而且事实上它同经过非常仔细的检查的实验结果不相符合。

这会在某种程度上给予你对科学的一种错误的印象。这种看法说我们要做的是不断猜测各种各样的可能性，然后把它们同实验比较，这好像是把实验放到一个相当不重要的位置上。事实上实验家们具有一种个人的风格。即使还没有人做出猜想，他们依然会做实验，并且他们非常经常地去做那些人人都知道理论家们还没有做出任何猜想的领域里的实验。举例说，我们也许知道许许多多定律，但并不知道它们在高能量的条件下是否成立。而实验家们已经尝试进行高能下的实验，并且事实上实验的结果不时一次又一次地产生麻烦；那是说，它导致一种发现，使得我们原来认为是对的东西变得错了。实验能够以这种方式产生意想不到的结果，而那会启动我们再提出猜想。意想不到的结果的一个例子是μ子和伴随它的中微子，在它们被发现之前，完全没有任何人猜到它们的存在，并且即使到了今天，依然没有人有任何方法，能够自然地猜到这一结果。

当然，你能够看到，用这种方法，我们能够尝试去否证[48]任何现

成的理论。如果我们有一种现成的理论，一种真实的猜想，由此我们不难计算出结果并拿来同实验比较，那么我们原则上就可以推翻任何理论了。

总是存在着证明任何现成的理论为错的可能性；但要注意，我们永远也不能证明它是对的。假定你想出了一种很好的猜测，计算出了结果，并且发现每一次你计算出的结果都同实验相符。那么这种理论就是正确的吗？不，它只不过是没有被证明为错误而已。将来你可以计算在更加广泛范围内的结果，也会有更加广泛范围内的实验，而你那时候也许会发现那东西是错的。这是为什么像牛顿定律那样的适用于行星运动的各种定律延续了那么长的时间的原因。他猜到了引力定律，计算出行星系统的所有种类的结果等，将它们同实验比较——这样经过了几百年，直到观察到了水星运动的轻微误差。在那一整段时期里他的理论没有被证明为错，因而可以暂时当作是对的。但它永远也不会被证明为正确的，因为明天的实验也许会成功地证明，你以为是对的东西结果却是错的。我们永远也不能够确定我们是对的，我们只能够肯定我们错了。然而，颇为令人惊奇的是，我们怎么能够有一些观念延续那么长的时间而没有发生错误。

使科学止步不前的方法之一，是只要做那些在你掌握了定律的领域内的实验。但实验家们为之孜孜不倦地努力奋斗的，恰恰是那些看来我们最有可能证明我们的理论是错误的研究。换句话说，我们正在尽可能快地证明我们自己错了，因为只有通过这种方式我们才能进步。例如，今天在普通的低能现象里，我们不知道要到哪里去找毛病，我们想一切都没有矛盾，因而并没有什么特别的庞大计划在核反应或者在超导电里找毛病。在这些演讲里我集中要讲的是基本定律的发现。整个物理学，包括运用基本定律对于像超导电或者核反应等现象加深理解的工作都是很有趣的。但我现在正在讲的是发现毛病，发现基本定律里的错误，并且由于在低能量现象里谁也说不出要到哪里去找，因而今天在这一领域

里所有重大的实验都是要发现在高能量下的新定律。我必须指出的另一点是，你不可能证明一种模棱两可的理论是错的。如果你做出的猜测表达得不清楚而且相当模糊，并且你用来推出结果的方法又有点含糊——你不敢于肯定，于是你说，“我想一切都没有问题，因为它都是由这样那样得来的，而且如此这般地做这个东西，那么多少我大概可以说明这是怎么样一回事……”那么你看到了这一理论是好的，因为它是无法证明为错的！并且如果计算结果的过程有不确定的地方，那么总可以借助于一种小小的技巧，把任何实验结果修整得好像期待的结果那样。你可能熟悉在另一领域里的这个故事吧。某甲怨恨他的妈妈，那理由当然是在他小时候没有得到她的足够呵护和关爱。但如果你仔细考察，你会发现那时候她确实十分爱他，一切都很正常。原来，这正是因为当他还是一个小孩时，她过分溺爱他了！由一种含混的理论出发，有可能得到截然相反的两种结果。解决这个问题的方法是这样的，假若事先有可能说清楚，爱到什么程度是不足够，又到什么程度是溺爱，那么就会有一种合理的理论供你来做试验了。当指出这一点时人们常常说，“当你在处理心理学事务的时候，你不能够定义得那么清楚。”是的，但另一方面，你也不能声称懂得关于它的任何事情。

当你听到在物理学里我们也有一些完全相同类型的例子时，你也许会感到震惊。我们有这些近似对称性，它们起的作用就像这个样子。你有一种近似对称性，据此你计算出假定它是严格成立时的一组结果。当同实验比较时，这些结果并不符合。当然——你假定的对称性是近似的，因而如果计算结果同实验符合得很好，你会说，“好极了！”而如果符合得很差，你又会说，“噢，这个特定的问题必定对于对称性的失效特别敏感。”现在你们会觉得好笑，但我们只能按这一途径去寻求进展。当一个问题最初是新的，并且这些粒子对我们说来也是新的时候，这种到处试探，这种“凭感觉”来猜想结果的方法，正是科学的开端。在物理学里对称性命题的精确程度，同心理学里的命题是一样的，因而还是不要笑得那么厉害吧。开始的时候必须非常小心，很容易由于这种含

混的理论而陷入绝境；很难证明它是错的，要凭着某种技巧和经验，才不至于在这种游戏中误入歧途。

在这种猜想、计算结果和与实验比较的过程中，我们可能在不同的阶段给卡住。当我们脑子空空的时候，我们会在猜想的阶段卡住了。或者我们也会在计算的阶段卡住了。例如，汤川秀树[49]在1934年猜出一个关于核力的想法，但是因为所用到的数学太困难，谁也算不出结果来，因而他们无法把他的想法同实验比较。那些理论长期保留在那里，一直到我们发现了所有那些汤川当时没有想到过的额外的粒子，因此情况无疑远不是汤川提出来的那么简单。另一个你会卡住了的地方是在实验那一头。例如，引力的量子理论进展得很缓慢——如果真的有什么进展的话，因为所有你们能够做的实验，从来不曾同时把量子力学和引力牵扯到一起。同电磁力相比较，引力委实是太微弱了。

由于我是一名理论物理学家，因此更喜好问题的理论这一头，现在我想集中于讲一讲你怎样做出猜想。

正如我在前面讲到过的那样，猜想从何而来是完全不重要的；重要的只是它必须与实验相符，并且它应当尽可能地清楚明确。你会说，“那很简单。你装设好一台机器，一台巨大的计算机，它里面有一个随机转盘，用来一次又一次地选取一个个猜想，每一次它猜出一个关于自然界应当怎样运作的假设，立刻就计算出结果来，并且同它设在另一头的一张实验数据的单子做比较。”换句话说，猜想是一种一个笨蛋也可以做的事。实际上正好相反，下面我将会解释为什么。

第一个问题是怎么样开始。你说，“好的，我会从所有已知的原理开始。”但所有已知的原理彼此是不融洽的，因而要丢掉某些东西。我们收到许多群众来信，坚决认为我们应该在我们的猜测中留出一些空缺。你们看，你要留出一些空缺，好把地方给新的猜想。有些人说，“你知道，你们这些人总是说空间是连续的。当你进入一种足够小

的尺寸时，你怎么知道那里真的排满了足够多的点，而不是有许多个彼此隔开很短距离的点呢？”或者他们说，“你知道你告诉了我的量子力学振幅，它们是那样复杂和难懂，是什么令你认为它们是对的呢？也许它们是不对的呢？”这样的一些议论，对于在这个问题上工作的任何人说来，答案明显是非常清楚的。仅仅指出来这一点是无济于事的。问题不仅在于什么也许是错误的，而精确地讲，在于能够拿什么来代替它。在连续空间的情况，假定正确的命题是说空间真的由一串点所组成，并且它们之间的间隔是没有意义的，你们那些点就会在一个立方点阵上。我们可以立刻证明这是错误的。它是行不通的，问题不仅仅在于说出什么也许是错的，而是要用什么东西去取代它——而那不是那么容易的。一旦有任何真正明确的想法替代了它，几乎马上就可以看出来它是行不通的。

第二个困难是有无数这种简单类型的可能性。它有点像下面这个故事。你正坐在那里苦干，你已经花了很长时间试图去打开一个保险箱。然后有某位张三走过来，他除了知道你正在尝试打开保险箱之外，关于你到底在做什么一无所知。他说，“为什么你不试一试10:20:30这一组密码呢？”因为你正忙着，你已经尝试过很多东西了，也许你已经试过了10:20:30这一组密码。也许你已经知道了中间那个数字是32而不是20。也许你知道了事实上它是一组五位数字的密码。……那么请不要写任何信件给我，企图告诉我怎么样去做这件事。我阅读这些信件——我总会读它们，以确认我是不是还没有考虑过那些建议——但写回信就太花时间了，因为它们常常都是“试一试10:20:30”这一类的废话。像往常一样，自然界的想象力远远超出我们自己的想象，我们已经从其他各种微妙和深奥的理论中看到了这一点。要得到这样一种微妙和深奥的猜测，不是那么容易的。必须是真正聪明的人，才能做出那样的猜测，那是不可能由机器盲目地做出来的。

我现在想要讨论猜测自然定律的艺术。它是一门艺术。我们怎么做

呢？你也许会建议的一种方法是回顾历史，看看别的家伙是怎样做的。因而我们就来看看历史。

我们必须从牛顿开始。他那时候的状况是只有不完全的知识，而他能够把那些都与实验有相当密切关系的概念放在一起；那时候在观察和试验之间并没有那么遥远的距离。那是第一种方法，但今天它不是那么行得通了。

第二个做了某些伟大事情的家伙是麦克斯韦，是他得出了电学和磁学的诸定律。他做的事情是这样的。他把所有电学的定律放在一起，那是由在他之前的法拉第和其他人发现的，然后他考察它们，认识到它们在数学上是不融洽的。为了摆平它，他要在一道方程里加上一项。他是通过自己发明一种在空间中有一些惰轮和齿轮等的机械模型来做到这一点的。他发现了新定律是什么样的——但没有人理睬他，因为他们都不相信那些惰轮。我们今天也不相信那些惰轮，但他得到的方程却是正确的。因而，推导的逻辑可以是错误的，但答案却是正确的。

在相对论的情况下，发现的模式是完全不同的。这时候已经积累了一些佯谬或者矛盾；已知的定律给出不一致的结果。这是一种新的思考方法，是从讨论那些定律可能有的对称性入手的方法。它是特别困难的，因为是第一次认识到长期以来被认为是对的牛顿定律，而最终是错的。而且，要接受看来是那么符合直觉的、关于时间和空间的普通概念会是错的，也是一件困难的事。

量子力学是用两条不同的方法发现出来的——这是一个教训。那时候也从实验发现了存在着，甚至存在着更多的大量佯谬或者矛盾，那些东西是绝对不可能由已经知定律以任何方式得到说明的。并不是那时候的知识不完善，而是知识太完善了。你的预言是应当发生这样的结果——而实际上并不如此。两种不同的方法之一是薛定谔[50]猜出了方程，另一个是海森伯论证说你必须只分析那些可测量的东西。这两种不

同的哲学方法最终导致了相同的发现。

最近我说起过的弱衰变定律的发现添加了一种多少不同的状况。弱衰变就是当一颗中子蜕变到一颗质子、一颗电子和一颗反中微子那一种类型的过程，我们对它的认识还不完全。这一次是有关知识还不完全，而只知道了方程的情况。这一次的特别困难在于实验都做错了。当你计算出结果，而它同实验不符，你又怎么能够猜出那正确的答案呢？你必须有勇气说实验必定做错了。我下面将会说明那种勇气从何而来。

今天我们没有什么佯谬或者矛盾了——也许是这样吧。当我们把所有定律都用上去的时候，我们就会得到这种无限大，但人们把污垢扫到地毯底下去了，他们是那么聪明，使得人们有时候以为这不是一个严重的困难。在这里再一次表明了，我们已经发现了所有这些粒子的这一事实，除了表明我们的知识是不完全的之外，没有告诉我们任何事情。我敢肯定物理学的历史不会再重复它自己，不会重演我上面给出的那些例子。理由是这样的，诸如“考虑对称性定律吧”，或者“把了解到的知识表达成数学形式吧”，或者“猜猜方程吧”等任何的方案，都已经被众人知晓，而他们一直都在试探。当你束手无策的时候，答案不可能是上述方案当中的任何一个，因为你本来就试过这些方案了。到下一次，必定要有另一种方法。每一次我们都陷入太多麻烦和太多问题的僵局里去，是因为我们使用的方法都只是沿袭了我们过去用过了的方法。下一个方案，新的发现，将会有一种完全不同的实现方式。因而历史帮不了我们多少忙。

我想要讲一点关于海森伯的关于不应当谈论你所不能够测量的东西的观念，因为许多人谈到这一观念时，并没有真正理解它的意思。你可以解释说，它的意思是，你所做的发明必定是由那种可同实验比较的计算结果一类的东西所构成的，即你计算出的结果不能够像是“一‘牡吐’必有三‘咕噜’”那样的东西，因为谁也不知道一“牡吐”或者一“咕噜”是什

么[51]。那样做明显是不行的。但如果结果能够同实验比较，那么那就正是所需要做的事情。不必在乎在猜想里有没有出现“牡吐”和“咕噜”那样的东西。你可以在猜想里放进你想要说的那么多废话，只要推出的结果能够同实验比较就行了。这一点总是没有得到充分的认识。人们常常抱怨把粒子和路径等概念没有根据地延伸到原子的领域。完全不是那样的；不能说那些概念的延伸没有根据。我们必须和我们应当，并且我们总是那么做，尽可能延伸我们已经知道的东西，尽可能延伸我们已经得到的那些概念。这样做有危险吗？是的。没有把握吗？是的。但这乃是取得进展的唯一途径。虽然那样做没有把握，但必须使科学发挥它的用处。科学仅当能够告诉你要去做哪些还没有人做过的实验时才是有用的；如果它只是告诉你人家刚刚做过了些什么，那它就没有什么用处了。必须延伸那些旧概念，超出它们已经被检验过的范围。例如，引力定律是为了理解行星运动而提出来的，假若牛顿只是说，“我现在了解行星了”，并且不觉得要尝试去比较地球对月球的拉力，那引力定律就不会有多大用处了，后来的人也不会说“也许是引力把星云维系在一起”了。我们必须尝试往外延伸。你可以说，“当你达到星云那么大的尺度时，由于我们关于它什么也不知道，那么任何事情都是可能发生的。”我知道，但没有什么科学接受这种类型的限制。对星云不存在终极的了解。另一方面，如果你假设整个行为都只是受已知定律的支配的，那么这一假设是非常局限和确定的，因而容易被实验推翻。我们要寻找的正是这种假设，这种非常确定而且容易同实验比较的假设。事实上，迄今为止我们了解到的星云的行为方式，看来并不违反各种已知的定律。

我可以给你们讲另一个例子，一个更加有趣和重要的例子。有可能对生物学的进步贡献最大的一个单个假设是，每一种动物做的都是原子所能做的，那么在生物世界里看得到的东西，都是物理现象和化学现象行为的结果，除此之外别无他物。你总可以说，“当你接触生物体时，每一样东西都有可能发生。”如果你接受这种说法，你就永远不会了解

生物了。很难相信章鱼触须的蠕动不是别的，而仅仅是许多原子依据一些已知的物理学定律在到处乱闯的结果。但当采用这一假设进行研究时，我们可以做出一些能够很精确地说明它是怎么样工作的猜想。运用这种方法，我们在理解这些事情上取得了巨大的进展。迄今为止章鱼还没有被切下来研究它的运动——还没有发现这个想法是错误的。

做出猜想并不是不科学，虽然科学界以外的许多人的确是那样想的。几年前我同一位非专业人士有一次关于飞碟的谈话——因为我是科学的，我知道关于飞碟的一切！我说“我不以为真有飞碟”。因而我的对手就说，“飞碟是不是不可能存在呢？你能够证明它不可能存在吗？”我说，“不，我不能够证明它是不可能的。它只是非常靠不住的。”他回应说，“你真是太不科学了。如果你不能够证明它是不可能的，你怎么能说它是靠不住的呢？”但我说的正是科学的方法。科学只是说什么是更靠得住和什么是更靠不住的，而不是总能够证明可能和不可能。为了明确我的意思，我也许应当这样对他说，“听着，我的意思是，根据我看到的在我周围的世界的知识，我认为关于飞碟的报告是地球上有智慧的生命已知的非理性创造的可能性，比地球之外有智慧的生命的理性创造的可能性大很多很多倍。”它仅仅是更靠得住，如此而已。它是一个好的猜测。而且我们总是尝试猜测最靠得住的解释，而同时在心底里记住，如果它行不通，我们就必须讨论其他的可能性。

我们怎么能够猜得到要保留什么和要抛弃什么呢？我们掌握了所有这些美妙的定律和已知的结果，但我们仍然处在某种困境之中；我们要么就得到那些无限大，要么就得不到一种足够的描述——我们缺少了某些部分。有时候那意味着我们要抛弃某种观念；至少在过去总是明白了要抛弃某种已经得到牢固支持的观念。这里的问题是，要抛弃什么和要保留什么。如果你把一切都抛弃了，那么你要再往前走就没有多少东西可以拿来用了。能量守恒看起来毕竟是经得住考验的，并且它是那么美妙，我不想把它丢掉。推断要抛弃什么和要保留什么，需要高度的技

巧。实际上它可能仅仅是一种运气，但它看起来就像是运用了高度技巧似的。

概率振幅是非常奇怪的，而你初次想到的是，奇异的新观念明显是荒诞无稽的。然而，尽管它是那么奇怪，但从存在着量子力学概率振幅的观念出发，能够推演出整个一长串的奇异粒子，得出百分之百的正确结果，说明它是能够成立的。因此我不相信，当我们找到世界组成的内部机制的时候，将会发现这些观念是错误的。我以为这一部分是正确的，但我仅仅是猜想：我正在对你们讲的是我怎样猜想。

另一方面，我相信认为空间是连续的理论是错误的，因为我们会得出这些无限大以及其他困难，并且我们还留下了是什么决定了所有粒子的大小这样的问题没有解决。我宁愿怀疑当深入无限小的空间时，几何学的那些简单的观念会变得不对。当然，我在这里只是留下了一个空缺，而不是告诉你们怎么样去填补它。假使我确实做到了这一点，我就会以一条新的定律来结束我的这个讲座。

某些人曾经运用所有原理互相之间的不一致性，说只有一个可能的自相融洽的世界，那么如果我们把所有的原理放到一起，进行非常精确的计算，我们将不仅能够推导出那些原理，并且将发现如果世界仍然保持融洽的话，这些就是可能存在的仅有的一些原理。在我看来，那像是一番大话。我听起来觉得像是本末倒置了。我相信，要给出存在着的某些东西——不是全部50种奇怪的粒子，而是少数几种像电子等的小东西——那么，运用了所有的原理而得出的宏大的复杂世界，就可能是一种确定的结果。我不认为你能够从关于一致性的论证出发来得出整个世界。

我们的另一个问题是部分对称性的意义。这些对称性，就像是中子和质子几乎是相同的但其电学性质是不同的，或者事实上反射对称性是完全成立的只是除了一种反应之外，这一类说法是非常令人烦恼的。事

情是差不多对称的，但又不完全对称。现在有两个考虑这个问题的学派。一派说其实很简单，它们实际上是对称的，但另有一点复杂的因素使它走了一点样。另一派观点只有一名代表，那就是我自己，认为事情也许本来就是复杂的，然后只有通过复杂性才能变得简单。古希腊人相信各个行星的轨道是圆形的。实际上这些轨道是椭圆形的。它们不是那么很对称，但也十分接近于圆。问题是，为什么它们非常接近于圆呢？为什么它们几乎是对称的呢？因为存在着一种长期的潮汐摩擦效应——这是一种非常复杂的观念。有可能自然界在她的核心部分里，这些东西是完全对称的，但在实际的复杂世界里它变得看起来好像是近似对称的了，于是椭圆看起来就差不多是圆的了。那是另一种可能性；但谁也不知道，它仅仅是一种猜想。

假定你有两种理论，A和B，在心理学上看来是完全不同的，它们含有一些不同的观念等，但从每一种理论计算出来的所有结果都是一样的，并且两者都同实验相符。那两种理论，虽然初听起来是不同的，但却有相同的一切结果，那么常常不难做出数学证明，表明从A和B的逻辑出发总会给出相对应的结果。假定我们有这样的两种理论，我们怎么样去决定哪一个是正确的呢？科学是给不出这样的方法的，因为两者都在同一程度上与实验符合。因而两种理论，虽然它们也许包含一些具有深刻差别的基本观念，也可以在数学上是等同的，因此没有科学的方法可以区别它们。

然而，为了猜出新的理论，由于心理学的原因，这两种理论可以离等价甚远，因为一种理论给人们的观念是与另一种理论不同的。你把理论放到某种框架里，你就会得出要改变些什么的想法。会有某种东西，例如在理论A里谈到某种东西，而你会说，“我要在这里改变那个观念。”但结果发现在理论B里，与你要在理论A里改变的东西相对应的东西可能是非常复杂的——它也许完全不是一个简单的观念。换句话说，虽然在改动之前两种理论是等价的，但还是存在着某些途径对一种理论

看起来很自然地做出的改变，在另一种理论看来却并不自然。因而在心理学上我们的头脑必须记住所有的理论，而且每一位够格的理论物理学家对完全同样的一个物理学问题都要知道六七种不同的理论表示方式。他知道这些理论都是完全等价的，而且在这一水平上还没有人能够判定哪一个比别的都更好，他只是把它们都记在脑子里，希望它们可以在他进行猜想时提供一些不同的考虑方法。

这使我想起了另一点，那就是当理论中有非常微小的变动的时候，与这理论相联系的哲学或者观念也会发生极大的变化。例如，牛顿关于空间和时间的观念同实验符合得很好，但为了得到水星轨道运动的那么一点点修正，理论的特征需要做出极大的变化。原因是牛顿定律是那么简单那么完美，并且从它们导出了那么多确定的结果。为了得到会产生一种稍微不同的结果的某种东西，理论就要变得完全不同了。在陈述一条新定律的时候你不能够使一件完美的东西变得不完美：你必须拿出另一种完美的东西来。因而牛顿同爱因斯坦的两种引力理论的哲学观念之间存在着极大的差别。

这些哲学是什么？它们其实就是有助于快速计算结果的一些计谋。一种有时候叫作对定律的一种理解的哲学，简单说来就是一个人为了快速地猜出结果而在他的脑子里记住一些定律的方式。有人说过，而且那是对像麦克斯韦方程那样的情况适用的一段话，“决不要去管什么哲学，决不要去管诸如此类的什么东西，只管猜出方程好了。问题仅仅是计算出答案使得它们同实验相符合，这样做并不需要有一种关于方程的哲学，或者论证，或者什么话语。”那可能是一种好的方法，如果你仅仅猜测方程，那样就会不使自己受到偏见的左右，于是你就会猜得更好。另一方面，可能哲学也会有助于你去猜想。到底如何，谁也难说。

对那些坚持说唯一重要的事情只是理论要符合实验的人说来，我想要假设一位玛雅天文学家同他的学生的一场讨论。玛雅人那时候已经能

够以很高的精确度计算出天文学的预测，例如日食月食和月亮在天空中的位置，金星的位置，如此等等。那都完全是由算术算出来的。他们算出某个数目，再减去某些数目，等等。他们没有讨论过月亮是什么东西。他们甚至没有讨论过月亮在轨道上转圈的观念。他们只是算出会发生日食和月食的时间以及什么时候会出现满月，等等。假定有一名年轻人去到天文学家那里说，“我有一个想法。也许这些东西是在轨道上转圈的，在那里的是一些像石块那样的球体，并且我们可以算出它们怎么样以一种完全不同的方式运动，而不仅仅是算出它们什么时候出现在空中。”天文学家说，“是的，而你能够以多大的精确度来预测日食和月食呢？”他说，“我还没有把这个想法推进得很远。”然后天文学家说，“噢，我们能够计算出日食和月食，比你能够用你的模型得到的精确度高得多，因而你一定不要再去考虑你的那个想法了，因为我们的数学方案明显要好得多。”这是一种十分强烈的倾向，当有人提出一种想法并说，“让我们假设世界是这样”的时候，人们有一种强烈的倾向对他说，“你会对如此的一个问题得到什么结果呢？”而他说，“我还没有把它推进得足够远。”于是他们说，“噢，我们已经发展了一种完善得多的方法，并且我们能够得出方程精确的答案。”因此，要不要顾及在想法后面的哲学观念，也的确是一个问题。

当然，还有另一种工作的方式是去猜测新的原理。在爱因斯坦的引力理论里，他猜想在所有其他种种原理之上的是对应于引力总是正比于质量这一观念的原理。他猜想这样一条原理，说的是在一辆加速行进的车子上，你不能区分是不是处在引力场中，然后将这一原理加到其他所有原理之上，他就能够推出正确的引力定律。

上面勾画了几种猜想的方式。我现在想要讲到关于最后结果的其他几点。首先，当我们全部完成了的时候我们也有了一种数学理论，我们能够由此计算出结果来，那么我们还能够做什么呢？那真正是一件令人吃惊的事。为了估算出一个原子在一种给定的状况下的行为，我们制订

了一些规则，用符号写在纸上，把它们送进其中装有某种复杂开关电路的机器，而结果就能够告诉我们原子的行为会是什么样子！如果这些电路开关的方式就是原子的某种模型，如果我们设想在原子里面有那些复杂的开关，那么我就会说我多少懂得了在做什么事了。我发现它十分令人吃惊，它竟然有可能运用数学来预言会发生些什么事，在计算中仅仅遵循了一些规则，而同原始的对象真正在做些什么完全没有关系。在一台计算机里开关电路的接合和分断同自然界里发生的事情实在是相距太远了。

在这种“提出猜想—计算结果—同实验比较”的事情中，最重要的事情之一是要知道你什么时候是正确的。在你核对所有的结果之前，有可能预先知道你什么时候是正确的。你可以通过它的美和简单性来认出真理。当你提出了一种猜想，然后做两三项简单的计算以确认它不是明显错了，就可以知道它是对的，这样做并不难。当你这样做知道它是对的，它就明显是对的了——至少如果你有一点经验的话——因为通常发生的是理论的输出多于输入。事实上，你的猜想是，某些东西是十分简单的。如果你不能够立刻看出来它是错的，而且它比以前的理论更加简单，那么它就是对的了。那些缺乏经验的，想入非非的，以及诸如此类的人们也会提出简单的猜想，但你能立刻看出来他们是错的，因而不必考虑。另外，那些缺乏经验的学生，他们提出的猜想是非常复杂的，并且好像是全都对头的样子，但我知道那是不对的，因为结果表明，真理总是比你想象的更简单。我们需要的是想象，但那是受到严格约束的想象。我们要发现一种新的世界观，它要能够同已知的每样东西相符合，但又在有些地方与预测不相符合，否则就没有意思了。而在那些不相符合的地方，它必须同自然界相符合。如果你能够找出另一种世界观，它同已经观察到的东西的整个范围都是相符合的，但又在别的什么地方出现不相符合，那么你就做了一项伟大的发现。非常接近于不可能，但又不是完全不可能的是，发现任何一种理论，它在所有各种理论都已经检验过的整个范围里都同实验相符合，而且仍然在某一其他范围内给出某

种别的结果，即使一种理论的一些不同结果被弄清楚了是同自然界不相符合的也是如此。要想出一种新的观念是非常困难的，那需要一种非凡的想象力。

什么是我们这一场探险活动的未来？最终会发生什么事？我们正在猜测一条又一条新定律；那么到底我们要猜测多少条定律才算完呢？我不知道。我的某些同事说，我们的科学的基本方面会不断发展；但我以为肯定不会不断更新，比方说在一千年之内。事情不会一直保持这样的势头，使得我们总是不断发现更多又更多的新定律。如果我们真的做到了这个样子，发现这么多个层次，一个在一个的底下，那有多烦人啊。在我看来，将来可能发生的事情，或者是知道了所有的定律——那是说，假使你有了足够的定律，你就能够计算出总是与实验相符的结果，那就会是这场探索的终结了——或者实验会越来越难做，越来越花钱，就算你了解了99%的现象，但仍然总是有某种刚刚发现出来的现象，它很难进行测量，并且与理论不相符合；并且你一旦得出了那一现象的解释，又总是会出现另一种类似的新现象，于是进步越来越慢，并且越来越没有意思了。那是探索过程会结束的另一种方式。但我想它总要以这一种或者另一种方式结束。

我们非常幸运地生活在我们依然不断做出发现的时代。就像美洲的发现那样——你只能发现它一次。我们生活在其中的时代，是我们正在发现自然界的各种基本定律的时代，这样的美好日子是一去不复返的，它真是令人鼓舞啊，它是那么神奇而美妙。但激动终将过去，将来当然会有另外有趣的东西。将来会存在对于不同层次之间的现象的联系的兴趣——诸如同生物学现象的联系，等等，或者，如果你谈到探险的话，将来会到别的行星去探险，但那将不是与我们现在所做的相同的事情。

另一件会发生的事情是，如果最后弄明白了一切都已知晓，或者它变得十分单调乏味的时候，那种富于活力的哲学以及对于我先前谈到过

的所有这些东西的仔细关注都将逐渐消失。那些总是置身于外围大发无聊议论的哲学家们将能够靠上前来，因为我们不再能够对他们说，“假如你们是对的话，我们就能够猜出其余的所有定律了”，这样来把他们赶走，因为当所有的定律都摆在那里的时候，他们将会对它们给出一种解释。例如，总是有一些关于世界为什么是三维的解释。噢，世界只有一个，因而很难说那种解释是对还是错，结果假如什么东西都知晓了的话，就会有关于为什么那些就是正确的定律的某种解释。但那种解释将会是在一个框框里的解释，我们不再能够通过说那种类型的推理不再允许我们向前进而批评它。那时候将会发生观念上的失落，就好像是发现一块乐土的伟大的探险家，看到旅行者蜂拥而至的时候所感到的失落一样。

在这个时代里，人们体验着一种愉悦的心情，那是当你猜到了在一种以前从未看到过的新情况里，自然界会怎么样运作的无限喜悦。从某一个范围里的实验和信息，你能够猜出在一个以前谁也没有探索过的领域上将会发生什么事。那是同正规的探险有点不同的，在探险活动里对于要发现的地域掌握了足够多的线索，有助于猜测那块从来未曾发现过的地域看起来会是什么样子。顺便说说，这些猜想常常与你们已经看到的科学上的猜想相差甚远，后者是要进行大量思考的。

大自然有什么东西让这种情况发生，使得有可能从世界的一部分猜出其余部分的所作所为呢？那是一个非科学的问题：我不知道怎样来回答这个问题，因此我想要给出一个非科学的答案。我想那是因为大自然具有一种简单性，并且因而具有一种极致的美的缘故。

译后记

关　洪

2004年2月于广州

费曼这本书最初是1965年由英国广播公司（BBC）出版的，从1967年起转给美国麻省理工学院（MIT）出版社出版。本书近40年来重印了好多次，并被翻译成多种文字出版。在我国台湾省，也先后于1979年和1996年出版了两种中译本，亦经多次重印。本书近年收入兰登书屋《近代世界最佳图书文库》（Modern Library of the World’s Best Books），可见其受到普遍重视的程度。

值得指出的是，在国外编撰这一类丛书，必定要选入一部分自然科学的著作，虽然占的分量不一定很大。例如在50年前出版的总共50多卷的《西方世界名著丛书》（Great Books of the Western World, Encyclopaedia Britannica，1952）里，就可以找到上至欧几里得下至达尔文等十余位科学家的著作，包括在国内很难找到的托勒密和开普勒等人的著作。因为，在近代科学的发源地区，从来都是把科学当作文化学术的一个重要组成部分看待的。相形之下，我国的传统则从来不承认科学亦是一种学术，其影响至今未绝。例如，以“学术”为名的刊物，是绝不会登载科学著作的。又如，一种大型的“世界学术名著”丛书，号称包括了哲学、历史、经济、语言、政治、法学等众多方面，开始的时候是一本科学著作也没有的，如今在已经出版的几百本当中，也只补充了少数几本。看来，在文化观念方面，甚至还比不上他们以前的老板王云五

的《万有文库》。

我很高兴湖南科学技术出版社为他们的“走近费曼丛书”选中了这部早就应该翻译过来的脍炙人口的著作。费曼的许多事迹已广为人知，译者还提供了一篇稍为详细一点的《费曼小传》作为本书的附录。我以为，费曼最突出的特色是独立思考，书本写的和人家说的，他都不相信，事事要经过亲自推演或者亲身体验。费曼在现代量子理论上的思索和创造，就充分体现了这一点。他通过苦心的钻研，在量子力学的基本原理上形成了独到的见解，从而提出了一套已成为理论物理学家们必备工具的别开生面的理论方法。不过，费曼在这方面一般只是限于正面阐述自己的观点，从来不公开批评别人或者同对手争论。特别是，费曼不像爱因斯坦和玻尔等老一辈物理学大师那样有发表哲学议论的癖好，他很不喜欢哲学，他关于量子力学到物理学以至整个科学的哲理性观点，一般只零星地散见于各种著作之中。这本书是一个仅有的例外，费曼在这里除了畅谈量子力学和物理学其他分支中的许多重要概念之外，还集中阐发了他在科学认识论和科学方法论等方面的见解，给了我们了解这一位物理学大师思想真谛的一个极好机会。

本书原名“The Character of Physical Law”，可以翻译成“物理定律的特征”。我们现在采取“物理定律的本性”的书名，是因为费曼在书中谈道“在思想上不承认自然界必须满足像我们的哲学家们所主张的那些先入为主的要求”。他在另一本普及性的小册子（《QED：光和物质的奇妙理论》）里也说过：“我希望你们按照自然界的本来面目接受自然界。”“我们不得不用以描述自然界的方式，一般说来，对我们是不可思议的。”他还提出“重要的是这个理论所给出的预言能否与实验符合。而一个理论是否在哲学上令人喜爱，或者是否容易理解，或者是否能从常识的观点看来完全合乎逻辑，所有这些都是无所谓的”。我们采取“本性”的译名，为的是体现费曼强调的“本来面目”的意思。况且，英语里character这个词也确有“本性”这一层意思。

我们从“出版前言”里已经了解到，这本书来源于费曼的一组系列讲座的影音资料和现场笔记稿。虽然后来经过整理，仍然带着明显的口语痕迹。原文的许多句子不大规范，意思也不够完整甚至不够准确。在翻译成汉语的过程中，对一些容易发生误解之处，不得不添加了少数文字。但是，这种做法是受到严格限制的。在行文的分段上，译文亦一如原文，不做任何改动。费曼的每次讲演，均系一气呵成，我们亦不画蛇添足地加上一些小标题。假若在译本里加上太多的解释，变得婆婆妈妈的，又分成许多小段落，或者堆砌许多华丽的词藻，就失去费曼的朴素而幽默的风格了。每一名读者，都不应该老像婴儿那样，一定要吞咽母亲咀嚼过的易于吸收的食物。应该努力钻研那些不合自己阅读习惯的读物，即使是硬骨头也要费力去啃，这样才会有利于提高自己的阅读和思维水平。希望读者集中于理解作者所阐述的思想和见解，而不必把这本书当作一本物理学或者物理学史的教科书。

费曼对哲学的态度很值得我们注意。按照他在本书里的意见，科学研究不需要哲学的指导，只是“哲学也许会帮助你提出猜想”。应当说这是当代物理学家普遍持有的一种态度。

老一代的爱因斯坦说过：“哲学的推广必须以科学成果为基础。可是哲学一经建立并广泛地被人们接受之后，它们又常常促使科学思想的进一步发展，指示科学如何从许多可能的道路中选择一条路。等到这种已经接受了的观点被推翻以后，又会有一种意想不到和完全新的发展，它又成为一个新的哲学观点的源泉。”（《物理学的进化》，周肇威译，上海科学技术出版社，1962，34页）这一段话长期被人们传颂，也很符合我们的传统思维习惯。

但是，和爱因斯坦同时代的玻恩（M.Born）后来是这样说的：“我曾努力阅读所有时代的哲学家的著作，发现了许多有启发性的思想，但是没有朝着更深刻的认识和理解前进。然而，科学使我感觉到稳步前

进，我确信，理论物理学是真正的哲学。”（《我的一生和我的观点》，李宝恒译，商务印书馆，1979，20页）

而比费曼小一辈的温伯格（S.Weinberg）近年就说得更加明白了。他写道：“哲学家的观点偶尔也帮助过科学家，不过一般是从反面来的——使他们能够拒绝其他哲学家的先入为主的偏见。”“哲学往往不能预先给我们提供正确的观念。……物理学家……能很好地追踪自然定律的美的踪迹，却不能从高高在上的哲学俯瞰通向那真理的道路。”“这并不是要否定哲学的价值，尽管它们多半与科学没有多少关系。……我们不应当指望靠它（哲学）来指导今天的科学家如何去工作，或告诉他们将要发现什么。”（《终极理论之梦》，李泳译，湖南科学技术出版社，2003，132～133页）

我们可以从本书中发现，费曼在这方面的基本观点是同温伯格相通的。如果把上面所引的爱因斯坦关于哲学能够“指示科学如何从许多可能的道路中选择一条路”的那句话改成“哲学提供了各种不同的可能道路供科学家选择”，就有可能调解其中的矛盾了。毕竟，在研究中要走什么样的道路，终究是要由科学家自己选择的。

译者很高兴有这个机会，在把费曼这部名著介绍给国内读者的工作中尽一点力量。

附录　费曼小传

关　洪

少年时代

1918年5月11日，理查德·菲利普·费曼（Richard Phillips Feynman，1918—1988）出生于美国纽约市郊的一个犹太移民家庭里。他的父亲梅维尔·费曼（Melville Feynman），是幼年时随着父母从俄罗斯迁到美国去的，后来从事制服销售生意。他的母亲露西尔·菲利普（Lucille Phillips）基本上留在家里操持家务。理查德是他们的长子。后来，费曼又有了一个比他小9岁的妹妹琼（Joan）。

费曼小时候常常由父亲带到设在曼哈顿的自然历史博物馆参观。父亲还让他玩各种益智游戏，讨论一些认识问题和到大自然里去观察。例如，在费曼很小时，他的父亲就买了一大堆处理品的贴墙用的小瓷片，叫他注意用两种不同颜色的瓷片，按照一定的间隔规则，看看能够排出什么花样来，并且把这种游戏当作基本的数学训练。

父亲教导他，事物本身是不重要的，重要的是怎么样去发现它们；不要光知道事物的名称，要紧的是了解事物的实质。例如，在他只有几岁大，在玩玩具小车时注意到，在小车启动时，车厢上的小球会向后滚，而当小车突然停止时，球就总向前滚。费曼问他的父亲为什么，得到的回答是：“谁也不知道！普遍的规律是：任何运动着的物体倾向于继续运动；而静止的物体则倾向于保持静止。人们把它叫作‘惯性’，但

谁也不知道为什么会这样。”这样就使费曼不仅仅晓得“惯性”这个名词，而且有助于掌握它的实质。

又如，当父亲带着费曼到树林中散步，观察到一些鸟雀时，父亲告诉他：“如果你对一种鸟只知道它的名称，哪怕知道了全世界各种语言里对这种鸟的叫法，你还是一点也不知道关于这种鸟的任何事情。所以让我们来看看这只鸟在做些什么，这才是有意义的。”费曼认为，因为受益于他的父亲，他很早就懂得了知道一件事物的名称同知道一件事物是两件不同的事。

父亲还总提出诸如鸟儿为什么经常用喙整理身上的羽毛，和有些树叶上为什么会有一道弯曲的痕迹等问题同他讨论。虽然他父亲对一些问题的解释在细节上未必正确，甚至完全可能是胡编瞎猜的，但费曼认为：“他试图向我解释的想法，是生活当中有趣的部分。这种追根寻源的做法无论有多么复杂，要点全在于坚持进行下去。”

费曼后来回忆道：“这就是父亲教育我的方式。这种教育是通过举例和讨论进行的，它完全没有压力，而只是一种令人愉快的和饶有趣味的讨论。这种精神在日后的一生中一直激励着我，并使我对所有科学都感兴趣。”

费曼在上初中时，有幸遇到了优秀的数学、物理和化学教师。例如，有一次高中物理老师贝德（A.Bader）看到费曼一副不满足的神态，便对他说：“看来你有点不耐烦，我要给你讲点有趣的东西。”这位教师讲的实际上是质点力学里的最小作用量原理，即质点在初始位置到终末位置之间，等于动能减势能的拉格朗日量对时间的积分，对于实际路径来说取最小值。费曼对此感到强烈的兴趣，对这一原理的偏爱，一直支配着他日后的研究路线。

然而，在高中阶段，真正令费曼着迷的科目是数学。不少科学家都

很早就表现出数学方面的天赋，也许因为这是一个单凭个人的智慧和努力，就不难长驱直入的领域的缘故。费曼觉得数学对他来说是很轻松的。他不满足于课内的进度，自学了解析几何和微积分等课目。

费曼在高中的时候还参加了班上的一个代数小组，同其他学校进行比赛。此外，总有一些同学拿着这样那样的数学习题以及难解的谜语来找费曼，而他“不把那些难题解出来，是不会罢手的”。因为来找他的同学越来越多，而中学生遇到的问题又常常是重复的，所以很多时候费曼面对的只是他已经有了答案的题目，当然一下就说出来了。费曼说：“这样虽然我为一个人花了二十分钟，却有五个人认为我是一个超级天才。”实际上，费曼的数学直觉和解决问题的非凡洞察力，起初就是通过这样一系列的训练活动而培养出来的。

从小开始，费曼就在家里动手做各种各样的小实验。他自己装过简单的机电和光电控制电路，玩过从前每一个业余爱好者都摆弄过的矿石收音机。上中学后，他又买到一些处理的残旧电子管收音机，包括直流电和交流电的收音机，自己摸索试着修理。他逐渐对这些东西熟悉起来，技术颇有长进，甚至还拥有了专门的工具——自己装配的一个多用伏特表。慢慢地，少年费曼的名气竟在镇上传开来，陆续有人找他修理出了毛病的各式各样的收音机。

20世纪30年代初，正是美国的经济不景气时期。费曼后来说：“人们请我做活的主要原因是经济大萧条。他们没钱修收音机，听说这个小孩会修又要钱不多，所以都乐意来找我。”后来，费曼还修理过打字机等日用的机器。这些少年时代的经验，不仅给日后有机会从事的实际工作带来好处，更重要的是培养了一种不屈不挠地解决问题的精神。他说：“我这人碰到难题，总是不解开绝不罢休。”“发现问题出在哪里，想办法修好它，这正是我感兴趣的，像解难题一样。”

总之，正如费曼自己所讲：“我有解谜的嗜好。这就是为什么后来

我要去开保险箱，去辨认玛雅人的古怪文字的原因。”他从小就树立起这样的观念：人生的意义全在于努力解开自然之谜。晚年的费曼为他的两本被认作是回忆录式的“故事集”所取的副标题就是“一名好奇角色的历险记”，以此作为他回顾一生的评语。正如他的一位学生希布斯（A.R.Hibbs）在此书的序言中所写：“挑战和挫折，超人的才识和激情，以及从科学探求中获得的极大快乐，这正是他生活中幸福的源泉。”

在家乡，费曼结识了比他小一两岁的一个女孩阿琳·格林鲍姆（Arline Greenbaum）。他是这样形容她的：“她是在附近最受人欢迎的姑娘：她是头号的，最漂亮的姑娘，而每一个人都喜爱她。”一天，阿琳对他说：“我们学到笛卡儿，哲学老师从‘我思，故我在’这一命题出发，而最后证明了上帝的存在。”费曼马上说：“这是不可能的。”他已经从父亲那里学会了不必尊敬权威，对于不管是谁说的话，都要自己去分析和判断。

当费曼运用科学的论证，终于说服了阿琳的时候，她又提起：这只是问题的一个方面，应该再看看问题的另一方面，因为“我的老师告诉我们，‘每一个问题都有两个方面，就像每一张纸都有正、反两个面一样。’”而费曼立即回答说：“你讲的这个问题也有正、反两个方面。”阿琳吃惊地问：“你这是什么意思？”

原来，费曼已经在《不列颠百科全书》里读到过关于莫比乌斯带的知识。他拿来一条纸条，先铺平了再把它的两端相对扭转180°，最后粘成一个环带。那么，这样做出来的莫比乌斯带就是只有一个面的几何体了。

费曼的演示使阿琳觉得很好玩。第二天上课的时候，她把它带到课堂上去。当哲学老师拿起一张纸，说任何问题都像每一张纸一样有正、反两个方面的时候，阿琳取出了她自己的纸环，举手发言说：“先生，

甚至你的那个问题也是有正、反两个方面的：这就是只有一个面的纸带。”结果，整个教室为之轰动。这次“莫比乌斯带”事件，无疑使费曼的聪明才智给阿琳留下了不可磨灭的印象。

费曼和阿琳在相互切磋当中，也琢磨了彼此的性格。阿琳生活在一个非常讲礼貌的家庭里，他们很注意别人对自己是怎样想的，并且认为讲一些无伤大雅的谎话是不要紧的。阿琳曾经希望，费曼也要在这些方面加强注意。可是，费曼却认为正确的态度应当是：“对于别人想些什么，你在乎些什么呢？”这种观点很快得到阿琳的理解和赞同，并且当作以后两人关系的准绳了。

求学历程

1935年秋天，18岁的费曼中学毕业，进入麻省理工学院（简称MIT）。他起初填写的主修专业是数学。可是，就在第一个学期，听过一段时间的课之后，费曼就去找数学系的主任问道：“学的这些高等数学，除了为了学习更多的数学做准备之外，还有些什么用处呢？”那位主任回答说：“你既然问了这样的问题，就说明你不是属于数学系的。”

于是，费曼想要转到比较实际的工科专业去。然而，费曼一年级的时候，同宿舍住着两名高年级的同学，他们正在选修由斯莱特（J.C.Slater，1900—1976，他对量子理论做过重要的贡献）教授主讲的研究生课程“理论物理学导论（上）”。有一次，当费曼听到那两位高班同学苦苦讨论的物理问题时，插嘴说：为什么不试一试用伯努利方程来求解呢？问题果然得到解决，而这些知识原来是费曼以前自己从百科全书上看来的，从来没有同别人谈论过。类似的多次遭遇，使费曼树立了信心，最后决定主修物理专业。

第二年，费曼正式选修了这门课，这一年轮到斯特拉顿（J.A.Stratton，1901—，他写的《电磁学理论》，曾经是一本被广泛采

用的教材）教授来讲了。选读这门课的几乎都是高年级学生和研究生，斯特拉顿教授很快就看出，费曼是一名真正出类拔萃的学生。斯特拉顿在课堂上推导公式的过程中，不时一下子就给卡住了。每逢出现这种情况，在稍稍迟疑之后，他就转向讲台下，请费曼帮忙解决；而费曼就会带点羞怯地走向黑板，指出改正什么地方便能继续推下去，而他的方法显得“总是正确的，并且常常是机敏的”。

下一个学期，即二年级下学期，他接着选修由莫尔斯（P.M.Morse，他和合作者写的一本《理论物理学方法》，是这方面的经典名著）教授主讲的课程“理论物理学导论（下）”。在这门课程里，已经包括了对量子力学这门新兴物理学理论的初步介绍。1937年秋天，亦即在费曼的三年级上学期，费曼又跟着莫尔斯教授认真地研读狄拉克（P.A.M.Dirac，1902—1984）的名著《量子力学原理》。

总之，在MIT的四年学习期间，费曼在多位名师教导之下，掌握了理论物理学的不同方面，特别是下过苦功钻研量子力学。最后，费曼在斯莱特教授的指导下，完成了他的毕业论文《力和分子》，同时表现出了概念方面和计算方面的突出才能。这一工作发表在权威的科学刊物《物理评论》上，其中包含了后来得到广泛运用的“费曼海尔曼定理”这一道量子力学公式。

在MIT的这一段经历，使他有机会从城郊小镇进入人才济济的科学殿堂，同众多智力超常的同辈交往和角逐，显露出峥嵘的头角；而他也从一个有点腼腆和犹豫的少年，变成一个趋于成熟而充满自信的年轻人了。

毕业之后，起初费曼想留在MIT继续深造。可是斯莱特教授坚持要费曼到别的学校去读研究生，对他说：“你应当看看世界上其他地方是什么样子的。”结果，费曼决定去普林斯顿大学，准备做著名的理论物理学家维格纳（E.P.Wigner，1902—1995）的研究助理。普林斯顿大学

是模仿英国一两所著名大学的传统作风而建立起来的。费曼去到那里的当天下午，就被邀请去研究生院院长家里参加茶会。费曼这个土生土长的美国青年，还从来没有经历过这样的场合，不晓得都有些什么规矩。当听见院长夫人在给他倒茶时问：“你的茶里想要加奶油还是柠檬，费曼先生？”的时候，他竟说：“我两样都想要，谢谢你。”这样的回答马上引起了夫人的笑声：“嘿……嘿……嘿……你真会开玩笑，费曼先生！”弄得他手足无措。茶会结束后他才明白，奶油和柠檬是不能一起放的，他着实犯了一个社交上的错误。

经过了不同文化和风格的熏陶，费曼后来说：“我从不同的学校学到许多不同的东西。”“麻省理工学院的确是好，但斯莱特告诫我要去其他学校读研究生也是对的。我现在也经常劝我的学生这样做。要了解世界的其余部分是什么样的。多样化的训练是很有益的。”而“你真会开玩笑，费曼先生！”这句话，就被费曼选作他的第一本“故事集”的大标题。

费曼入学以后，由于情况的变化，没有师从维格纳，而是做了惠勒（J.A.Wheeler，1911—）的助手。惠勒只比费曼大七岁，头一年刚到普林斯顿担任一名助理教授。他们不仅是师生，也成了一对合作者和好朋友。惠勒对物理学多方面的兴趣和敢想敢为的胆大风格，日后给费曼以决定性的影响；而惠勒后来也说道：“大学里招学生的理由是他们可以教那些教授，而费曼则是这些学生当中最杰出的一个。”这两人的聚合，真可谓相得益彰了。

惠勒向费曼讲到，所有物理过程的量子力学描写，都可以看成是由一系列相继的散射过程组成。与此同时，费曼继续致力于考虑他早些时候就极为关注的物理学基本问题，即电磁学的量子理论（量子电动力学）。在MIT读本科的时候，费曼读到狄拉克的《量子力学原理》，书中最后一句话：“看来这里还需要一些本质上全新的想法。”给他以非常

深刻的印象；事实上，费曼早就把解决这一问题当作自己长期努力的目标了。

费曼了解到，电磁场理论的主要问题，是电子自能无限大的困难。这一困难是由于把电子描写成点粒子而造成的。这个问题在经典的电磁学理论里已经存在了。费曼设想，既然问题出在无限大的场能身上，不如根本取消电磁场，就不会有这个障碍了。费曼的这种想法，实际上恢复了电荷之间的超距作用；不过，为了反映电磁作用的有限传播速度（光速），这是一种在时间上“推迟”了的，亦即需要一定时间传递，而不是即时到达的超距作用。

费曼把他的问题带到普林斯顿去，并且明白了它的缺点所在。根据费曼原来的想法，如果没有场，电子在加速运动的时候，将不会感受到抵抗加速的这一份额外的阻尼力，因而违反了能量守恒的要求。

费曼曾经设想，用一个电荷受到空间中其他电荷对它产生的反作用来解释辐射阻尼。惠勒指出那是行不通的，并且让费曼考虑加进超前作用，看能不能得到正确的辐射阻尼。本来，推迟波和超前波，都是满足电磁场方程的解。但是，由于超前解被认为违反了因果性的要求而从来不被采用。在惠勒的指导下，费曼发现，如果使用一半对一半的推迟解和超前解，并且假定所有的作用源都被一种完全的吸收体环绕着，辐射阻尼就可以看作是由吸收体的电荷以超前波形式对作用源的一种反作用。并且，在这种新的电磁学理论里，既不出现电磁场，也不存在电荷对自身的作用。

1941年春天，费曼将这一工作写成题为“辐射的相互作用理论”的初稿，交给惠勒。1942年春天，惠勒重新进行整理和扩充，把修改后的新稿子《超距作用的经典理论——作为辐射阻尼机制的吸收体反作用》交还给费曼。这时候，太平洋战争已经爆发，惠勒开始忙于参加铀同位素分离的军事工作，无暇再接着研究下去。后来，这一工作的主要部分，

以两人联名的形式发表在1945年的《现代物理评论》上。

费曼从这一工作中得到两项重大的收获。首先，他学会了，一门已经确立了的物理学理论，也可以用完全不同的方式，甚至是被大家抛弃了的形式来重新表述。他后来说过，一个理论如果可以有愈多不同形式的表述，就说明它愈具有基本的意义。

其次，在这一工作的最后形式里，系统的运动方程可以由一种新式的“全空时观点”的最小作用原理推出来。这指的是，在经典力学的最小作用原理里，作用量S是拉格朗日量L对时间t的积分，而L本身又是粒子在这时刻的坐标和速度（动量）的函数。现在，由于新的作用量里包含有不同时间（即时间上推迟或者超前）的粒子的变量，就不能把空间积分和时间积分分离，而只能写成在整个空间时间中的四维积分。费曼相信，运用同一种方法，必定能够继续攻克电磁场的量子理论。

原来，1932年狄拉克有一篇文章，讨论过量子力学里的拉格朗日量表示。狄拉克指出的是，量子力学里负责把T时刻的态函数ψ（x, T）变换为t时刻的态函数ψ（x, t）的跃迁矩阵（x t | x T），“相当于”以在这一段时间内的作用量积分（除以普朗克常数）为相位的一个相因子。费曼把狄拉克的“相当于”换成“相等于”；并且，对于时间t的无限小的增量ε，写出不同时间态函数的变换公式，将经典力学里的单粒子拉格朗日量代入这道公式，选择适当的常数A，就能推出量子力学里的基本运动方程——薛定谔方程。

这样，费曼实际上找到了建立量子力学的一种新方法。即有别于海森伯（W.C.Heisenberg，1901—1976）1925年建立的“矩阵力学”和薛定谔（E.Schr dinger，1887—1961）1926年建立的“波动力学”的，量子力学的第三种等价的数学程式。

在这个基础上，费曼创造了一种日后被证明为非常有效的量子理论

的崭新的方法，即量子力学的路径积分方法。他相信运用这个方法，必定不难解决他久已萦怀于心的电磁场的量子理论。不过，这时候费曼和他的老师惠勒都已分别参加了战时的军事工作。其间，费曼抽出了六个星期赶写出博士论文《在量子力学中的最小作用原理》，并在1942年5月通过了学位。然而，处在这样的非常时期，当时这篇论文没有公开发表，自然也没有引起多少注意。

战争时期

这时候，阿琳也在纽约成了一名修习美术的学生。而在晚上，她还要去教人弹钢琴，好挣得自己日间的学费。这种双重劳累的生活，无情地透支着她的健康。已经在普林斯顿深造的费曼，有一次回家时，看到阿琳颈上长了一个小疱，初时以为只是小毛病。后来她开始发热，情况不好，被送进了医院。接着，又发现了她腋下等处的淋巴结肿大，迟迟未能确诊。

在这期间，迫于医务人员和双方家庭的压力，费曼曾经一度违心地向阿琳隐瞒了病情。当她终于从费曼嘴里知道了真相时，第一个反应不是责怪他，而是冲口而出地对他说：“天哪！他们让你遭了多大的罪啊！”因为，阿琳深深知道，要使费曼对她说谎是非常困难的，他一定受到过极端的折磨了。经过这件事之后，他们无论如何不会再讲那些“无伤大雅的谎话”，也绝对不再在乎别的任何人是怎么想的了。

最后，经过活组织检验，阿琳被证实患上了“淋巴结结核”。这种病在当时说来是一种不治之症，一般只能再活四五年。这是一场严肃的人生考验，从此刻开始，这两位年轻人将勇敢地并肩对付他们要遇到的一切问题了。

1942年春天，费曼一通过博士论文，就义无反顾地向他的家庭宣布，他要同阿琳结婚了。几乎所有的家人和朋友全都反对这门亲事。而

费曼回答他们说："如果一位丈夫知道他的妻子患上结核病就离她而去，难道这是一种合乎情理的做法吗？"事实上，费曼觉得在感情上，他同阿琳老早就无比紧密地结合在一起了。而更现实的问题是，只有取得了丈夫而不再仅仅是未婚夫的身份，才能够更好地照顾病中的阿琳。

他们联系了在新泽西州离普林斯顿不远的一所慈善医院。然后，费曼借到一辆汽车，自己动手改装成简易的救护车，去迎接羸弱不堪的阿琳，同她的亲人告别后就出发了。就在前往新泽西州的途中，他们两人去了一处市镇政府的办公室，举行了一场没有任何宾客参加的婚礼。此后，每个周末，费曼都从普林斯顿搭车到这所医院来看阿琳。而事实上，在这对新婚夫妇不长的几年婚姻生活里，阿琳基本上都是在医院或者疗养院里度过的。

1942年年初，当费曼正在普林斯顿苦攻他的博士论文的时候，他的一位朋友，比他大几岁的实验物理学家威尔逊（Robert R.Wilson，1914—）向他透露了自己刚刚接受了一项秘密的官方任务，这就是研制第一颗原子弹的工作。当威尔逊动员他参加这项工作时，他最先的反应是不想去。因为，这主要是一件技术性的工作，而他正在为之奋斗并立志献身的则是纯粹的科学问题。其实，在战争时期，差不多所有纯粹物理学的工作都停顿下来为原子弹和雷达等军用研制计划让路了。经过反复的考虑，费曼还是决定参加这一任务。

起初费曼随同威尔逊留在普林斯顿，参加过用电磁方法从天然铀元素中分离^{235}U同位素的讨论。后来的研究表明，这种方法的效率很低，实际的生产是用气体分离法进行的。

经过一段筹备之后，美国政府决定将这个命名为"曼哈顿计划"的核武器研制工程的总部，设在新墨西哥州的一处叫作洛斯阿拉莫斯的一片不毛之地上。一位理论物理学家奥本海默（J.R.Oppenheimer，1904—1967）是这一项目在技术方面的总负责人，费曼就是他在1943年接纳的

第一批科学家当中的一名。当奥本海默了解到费曼的情况后，特地把阿琳安排在距离洛斯阿拉莫斯最近的一个有较好医疗条件的城市阿尔布克基的一所医院里疗养。

在洛斯阿拉莫斯负责理论部的是另一位理论物理学家贝特（H.A.Bethe，1906—），因为开始没有来多少人，他经常找费曼讨论各种问题。而费曼回忆说："当我听到物理问题时，我就只考虑物理学，而不管我的话是对谁讲的。于是我就入了迷似的对他讲：'不，不，你是错的。'或者'你真笨。'等等。""我的反对常常是错的。但无论如何，贝特正需要有人给他挑毛病。如果一味谦让，他倒会不满意了。"

才华横溢的费曼，他的高超智慧和洞察力给贝特留下了非常深刻的印象。例如，他们两人合作，在核武器的早期研制阶段就推导出适用于任何质量范围的爆炸效率公式；它一直使用到现在，并且被称为"贝特费曼公式"。由于贝特极为赏识费曼的才干，就委派他领导一个小组，负责计算工作。

贝特是来自康奈尔大学物理系的教授，他在1938年用核聚变反应的机制，成功地解释了太阳能量的来源，从而解决了这一困惑人类的千古之谜，他后来为此获得1967年的诺贝尔物理奖。贝特准确的物理直觉、惊人的分析能力、一往无前的精神、正直的人生态度，都给予费曼以深刻的影响，并且赢得了他的爱戴。

与此同时，奥本海默也看中了费曼。1943年11月，奥本海默写信给他原来所在的伯克利加州大学物理系的主任，竭力建议招揽费曼战后到伯克利工作。他在推荐信上写道："费曼是明显地超出这里所有其他年轻物理学家的最出色的一个，每一个人都知道这一点。他具有彻底献身的品质和性格，在所有方面都极为明白和健全；他是怀着对物理学一切方面的热爱的一位杰出教师。他对于理论成员（他自己是其中的一员）

同实验成员（他同他们非常紧密地和谐合作）都保持着可能做到的最好关系。……维格纳说过：‘他是第二个狄拉克，只是这一时代的人物。’”

但是，由于贝特早些时候的推荐，就在这一个月里，费曼已经接到康奈尔大学物理系请他战后到那里担任助理教授的函件。而且，办事正统而保守的伯克利物理系主任，并不认为有必要这么早就做出聘任的许诺。奥本海默得知这些情况后，于1944年5月再次去信给他的系主任，表示强烈的遗憾和失望。信上写道：“费曼不仅是一位极有才华的理论家，而且还是一位最坚定、负责和热情的人物，一名杰出和有头脑的教师，以及一名永不疲倦的工作者。他会以罕见的才干和罕有的热忱来教授物理。……事实上，他正是我们伯克利长期以来所需要的一个人，这个人将贡献于物理系的团结，并且把它的专业水准带领到前所未有的高度。”奥本海默真有眼光，他说的所有这些，都将在费曼日后的长期教学生涯中一一付诸实现，不过并不在伯克利就是了。

当从丹麦逃亡出来的玻尔父子（N.Bohr，1885—1962；A.Bohr，1922—）俩辗转抵达洛斯阿拉莫斯，试图为提高炸弹的威力而出谋献策时，费曼也参加了为此举行的技术会议，坐在一堆大人物的后面，自然也忍不住发了言。会后，费曼出乎意料地接到小玻尔的电话，说他们父子俩要单独同他面谈。在会见后的讨论当中，费曼想到什么就讲什么，直言不讳地回答说：“不，那是不行的。那是没用的。”“这次听起来要好一点，但那里头有这样的一个该死的笨念头。”等等。反复谈了两个钟头后，老玻尔才说，现在可以叫那些大人物来讨论了。

后来，小玻尔告诉费曼是怎么一回事。原来，在头一次大会之后，他的父亲对他说：“要记住坐在那边后面的那个小伙子的名字。他是唯一一个不怕我，并且会在我说出一个愚蠢的想法时敢于指出来的家伙。所以，下回当我们有想法要讨论时，我们根本不要去找那些对任何问题都只会说‘是，是，玻尔博士’的家伙。我们要先找到这个家伙同他谈

谈。”

除了参加各种技术问题的讨论之外，费曼的主要工作是主持一个小组，进行工程计算。他们使用的计算工具，是一些现在早已看不到的、手摇操作的机械式计算机；费曼在读大学的时候，已经熟悉了这种机器，现在很快就成为这方面包括使用和维修的一名专家。

开始时，每台计算机独自进行各种运算，这样效率并不高。他们了解到国际商用机器公司（IBM）已经生产用穿孔卡片输入的，各种由电动机驱动的加法机、乘法机等，就去定做所需要的机器。与此同时，在这种做法的启发下，他们采取“流水作业”的办法，让每一台计算机各司其职，分别专门做加法、乘法或者开方等，并且用手写的卡片来传递数据。结果，计算效率增加了好几倍。事实上，这相当于一种手工操作的原始程序方法。

留在阿尔布克基医院里的可怜的阿琳，日渐衰弱下去。除了在周末能够见到费曼之外，阿琳平时就不断写信，寄托对郎君的思念。为了消磨时光，这些信上常常有一些谜语或者其他小玩意儿，两人从中获取了无穷的快乐。为了出其不意，他们甚至还分别练习过中国的书法，以表达相互的情谊。

1945年6月，阿琳终于不行了。一天，费曼知道情况危急，匆匆赶到医院。阿琳已经呼吸困难，昏迷不醒。几个小时后，费曼目送她永远离去，这一天是6月16日。

费曼随即回到洛斯阿拉莫斯，他不知道怎样面对众多的同事，只是对他们简单地说：“她去世了。而任务进行得怎样了？”他们都明白他不想沉浸在悲痛之中，便如常地继续工作。只是在一个月之后，当费曼走过一家百货商店，看到橱窗里的一套漂亮衣服，忽然想到阿琳一定会很喜欢的时候，才禁不住恸哭一场。

完成了一项重要的计算之后，费曼请假回到纽约家里稍事休息。一天他收到一份电报："婴儿将于某日出世。"他知道时候到了，马上乘飞机回基地，赶上了开往进行代号为"三一试验"的试验场地的车队。那一天是1945年7月16日，一个可纪念亦可诅咒的日子。他被安排在离爆炸中心20英里（约合32千米）处的观察站。清晨5时30分，费曼躲在一辆卡车的挡风玻璃后面，用肉眼目睹了远方升起了一团比千百个太阳还亮的巨大火球。他原先以为，在这么远的距离，核爆炸的主要伤害只在于紫外线，一块厚玻璃就可以挡住。后来他才晓得害怕，无论如何，他可能是用肉眼直接观察第一颗原子弹爆炸的唯一的一个人。

那些日子，在洛斯阿拉莫斯，人人都为试验成功而欢欣鼓舞，热闹得好像过节一样。费曼看到，只有威尔逊独自闷闷不乐，他对费曼说："我们造的这个东西太可怕了。"接着，8月上旬美国军队在日本广岛和长崎制造的悲剧，使更多人变得清醒起来。正如奥本海默后来所说："无论是指责、讽刺还是赞扬，都不能使物理学家们摆脱那本能的内疚；因为他们知道，他们的这种知识，本来是不应当拿出来使用的。"

在洛斯阿拉莫斯的那几年，费曼经历了一场刻骨铭心的爱情，也看到了起初以莫大热情投入而诞生的一团巨火。现在，在他的生活里交织在一起的爱和火都结束了。曾经沧海的费曼，心灰意冷地离开洛斯阿拉莫斯，从此以后，他再也不参加任何为军事服务的工作了。

现代量子理论的建立

1945年11月，费曼离开洛斯阿拉莫斯，前去康奈尔大学物理系上任。

在到康奈尔前不久，费曼永别了爱妻；翌年秋天，他又失去了慈父。此外，费曼还笼罩在自己参与研制的核武器的威力被美国当局滥用

的阴影之下，情绪相当低沉；他觉得以前对物理学研究的灵感好像已经“耗尽”，再也做不出什么来了。一天，他在校园咖啡厅吃午饭的时候，看到一个孩子把印有康奈尔校徽的一个碟子旋转着扔到空中。费曼观察到，碟子一边旋转，一边摇晃；并且从校徽图案的转动看出，碟子自转的频率差不多是摇晃频率的两倍。这一现象顿时引起了他的兴趣，他马上动手用经典刚体力学的方程去解出这种运动。费曼从这个例子联想到电子的运动和它的自旋，重新燃起了对量子电动力学的热情。

1947年春天，他先对在普林斯顿时写的博士论文进行整理和修改，使它变成一种普遍性的理论。这篇1948年发表在《近代物理评论》刊物上、题为“非相对论性量子力学的空间时间方法”的总结性论文，第一次公开阐述了他所创立的量子力学的“路径积分方法”，即把从初始状态到终末状态的、所有在空间时间中的可能路径所贡献的振幅，都叠加或者积分起来，以构成总振幅的方法。在这篇日后将成为量子力学经典文献的论文里，已经摆脱了对于原来含有超前解的超距作用模型的依赖，而仅仅把它当作一个应用的例子。

1947年年初，兰姆（W.E.Lamb，1913—）和里瑟福（R.C.Retherford，1912—1981）运用在战时雷达研究中得到飞速发展的微波技术，观察到氢原子能级里的“兰姆移位”。这是当时最先进的相对论性量子力学理论也解释不了的一种崭新现象。

1947年6月初，美国物理学会等组织筹办了以“量子力学和电子”为题的“设尔特岛会议”。与会者有费米、奥本海默、贝特、冯·诺伊曼（J.Von Neumann，1903—1957）、拉比（I.Rabi，1898—1988）、泡利（L.C.Pauling，1901—）、外斯科夫（V.Weisskopf，1908—）和惠勒等著名的科学家；费曼和来自哈佛大学并与他同庚的施温格（J.S.Schwinger，1918—）等人也作为年轻物理学家的代表被邀请出席。这是费曼首次与这许多“大人物”同时参加的一次“纯粹”物理学会

议。他回忆道："在我后来在世界各地参加的会议中，我都没有感觉到像这一次会议那么重要。"

在会议的头一天，兰姆报告了他们关于氢原子光谱线移位的最新实验结果；拉比也介绍了他们实验组观察到的类似偏差。而对于这些问题，在会议之前和会议当中，都没有得出一种恰当的理论解释。

贝特在会后离去的列车上，对兰姆移位做了一种非相对论性的估算。通过适当选择积分上限的截断，结果同当时的实验数据符合得很好。这是对兰姆移位的一个理论上的初步解释。贝特的工作，引起了费曼的浓厚兴趣。因为，此前费曼关于路径积分及其相对论化的研究，主要是当作一种基本方法来考虑的。现在，正好提供了一个初试牛刀的极佳机会。经过了一段时间的努力，费曼终于用他自己的路径积分方法解决了这个难题。

费曼还由此发展了一种图形技术，能够大大地简化微扰计算的分析。在这种后来被普遍运用的"费曼图"里，用顺时间方向的线段代表电子的运动；与此同时，受到在普林斯顿时惠勒告诉他可以把正电子看作逆行电子的启发，又用逆时间方向的线段代表正电子即电子的反粒子的运动。由于这是一种相对论性的理论，在图形中的每个关节点的空时坐标，在计算中都是要对整个空间时间积分的。因此，在对由一个图形代表的那项的全部积分中，就包括了所有各个关节点的时间先后顺序各不相同的那些贡献。而其中的每一种不同的时间顺序，在老式的微扰计算里，一般都代表一个单独的项；这些不同的项，对应着过程里含有或者不含有电子正电子对等的不同的"中间态"。现在，按照费曼的方法，一下子就算出了原来要先分开来算的好些项的贡献之和；而这个和式，一般要比原来的每个单项都简单得多。并且，对于与愈复杂的图形相对应的计算，这种优越性就愈明显。

起初，费曼在一定的程度上是凭着直觉和猜测建立起他的理论的。

这种新的方法还有待补充和完善。不过，费曼也已经敏锐地看出，他的方法不仅适用于量子电动力学，即电子同光子相互作用的理论，也应当适用于刚刚兴起的介子理论的微扰计算。

与此同时，施温格也在尽全力做同样的问题，用量子电动力学去计算兰姆移位和电子反常磁矩，并且得到与费曼相类似的结果。1948年四五月之交，在美国宾夕法尼亚州举行的“波科诺会议”上，他们两人又一次相遇了。这是接着设尔特会议召开的第二次相近主题的讨论，出席的是上次会议的大部分成员，还添上玻尔父子、维格纳、狄拉克等著名的学者。

会议开始，上午先由施温格开始做一个延续了七八小时的报告。他是使用人们比较熟悉的方法进行计算的，其中满是繁复的数学公式。下午的后半段时间，才轮到费曼发言。费曼的新颖思想，一时很难被人接受；特别是他的路径积分方法，大家全都初次听到。面对着听众连珠炮似的提问，费曼越解释就引出越多的麻烦。而当费曼讲到他的图形时，老玻尔站起来，以权威的口吻打断说：20年前，我们已经知道，在量子力学里是不能使用电子的路径或者轨道的概念的。言下之意是费曼根本没有学好量子力学。其实，经典力学的轨道是粒子通过的一条确定的轨迹；而费曼说的路径只是粒子运动的一种可能途径，计算时需要把所有可能路径的贡献求和。费曼也知道，玻尔实际上并没有弄清楚自己讲的是什么意思，况且有些问题还没有考虑到。因此，他决定下一步要把这些东西都整理出来，写成文章发表。

另一方面，在会议上费曼和施温格进行了密切友好的交流以及互相参照和帮助。虽然他们俩对于对方的数学方法和具体计算还来不及弄明白，但是双方的基本思路和主要结论，都是很接近的。他们坚信，尽管暂时几乎得不到任何其他人的认可，而俩人能够达到相互理解和认同，就证明了他们所做的工作一定是正确的。

就在这时，在日本出版的英文刊物《理论物理学进展》上面载有朝永振一郎（S.Tomonaga，1906—1979）1943年发表的一篇日文文章的英译文，讲的正是量子场论的相对论性形式，以及有关无限大量的消去办法。这表明了几年前朝永在与世隔绝的情况下，已经建立了施温格理论的基本纲要。

1947年秋天，正当众人对量子理论进行着这一轮热火朝天的新冲击之际，戴森（F.J.Dyson，1923—）从英国来到康奈尔做贝特的研究生，并且不久就同费曼成了挚友。戴森回忆说："费曼是一位极有独创性的科学家。他不把任何人的话当真。这就意味着他得自己重新发现或发明几乎全部物理学。……他说他不理解教科书中所讲的量子力学的正规解释，所以他必须从头开始。这实在是个壮举。在那些年月里，他比我知道的任何其他人都更加用功。最后他有了自己能够理解的对量子力学的解释，然后他又继续用这种解释来计算电子的行为。……我用正统理论为贝特所做的'量子电动力学'计算，花了我几个月的时间，用掉几百张稿纸；而费曼在黑板上演算，只用半小时就得到了同样的答案。"

于是，戴森决定，在完成了贝特所布置的任务之后，"我的主要工作应当是了解费曼，并且用世界上其他人都能懂得的语言来解释他的思想。"1948年夏天，同这两位物理学家有过深入接触的戴森忽然领悟到，费曼的图形和施温格的方程，恰恰是同样一套理论体系的两个不同的侧面。回到康奈尔，戴森很快写出了《朝永，施温格和费曼的辐射理论》和《量子电动力学中的S矩阵》两篇文章，系统地论证了他们三人理论的等效性，并且把费曼方法的路径积分表述翻译成大家都能看懂的形式。经过戴森创造性地整理改写的这一理论方法，给出了后来普遍使用的量子场论的标准程式。

1949年4月中旬，费曼又参加了接着波科诺会议召开的第三次讨论理论物理学基本问题的"老石头会议"。主持会议的奥本海默回顾了两年

来的三次会议之间，在量子电动力学理论上取得的决定性的惊人进步。而在这次会议上，完全是由费曼唱主角了。

根据费曼的方法，只要确定了具有一定拓扑结构的费曼图，像拼砌积木一样，对图形上每一段代表初态或末态粒子的外线和代表中间态的内线，以及每一个多条线段交会的顶角和封闭回路等，按照一定的规则写出相对应的一些因子和运算符号，就立刻可以得到完整的易于计算的振幅公式。费曼还发展了在计算总振幅时需要用到的一套“算符排序”等运算技巧。从此，这种构成了现代量子场论的一系列概念和语言，就成为每一位理论物理学家所必须掌握的基本工具；而其中常常用到的费曼图、费曼积分、费曼振幅和费曼规则等名词则处处留下了他的印记。费曼所参与创造的、最早对量子场论中出现的无限大量的消减处理方法，后来又发展成为一种“重整化”理论。

1965年，费曼以及朝永和施温格三人，由于在“量子电动力学方面的基础性工作”，共同获得了该年度的诺贝尔物理奖。当年12月，费曼在他的获奖讲演里，回顾了从大学时代开始的这一场历时多年的奋斗经过。他说，在最后的理论里，既没有当初的超距作用，也没有超前势了。这就好像麦克斯韦（J.C.Maxwell，1831—1879）从他早期的机械模型脱胎出独立的电磁场理论一样。费曼打个比方说，譬如一位老妇人，今天已经风采不再。但是，我们还是能够称赞任何一位老太太说，她曾是一位很好的母亲，孕育过一些很好的孩子。

对科学和教育的贡献

1950年2月，费曼应邀到加州理工学院（简称Caltech）去讲学，很欣赏那里的自然气候和学术气氛。其实，人家请他去讲学，正含着想把他挖过去的用意。经过初步接触，Caltech很快应允给刚刚三十出头的费曼以正教授的待遇。可是，康奈尔已经安排费曼在1951到1952学年为带薪的学术假，又碍于贝特的深厚情谊，弄得他有点进退两难。Caltech得

知这一情况后马上决定，费曼调来后的第一年享受学术休假，不必到校，照领薪水。这一打破常规的优惠做法，终于收到了效果。

于是，第二年，费曼在去Caltech报到，并且写完上一阶段工作的最后一篇总结性文稿《在量子电动力学中运用的一种算符运算》之后，1951年8月到1952年6月，按照事先的安排，到巴西去讲学一年。从南美洲回美国后，费曼一直在Caltech物理系工作，并于1959年起担任托尔曼理论物理学教授，直到他去世为止。

费曼在Caltech工作的30多年里，继续在理论物理学的不同方向的研究上获得了累累硕果。与此同时，他一直坚持在物理教学的第一线上，也取得了非凡的成就。可以这样说，费曼把他的一生，都献给了物理学的研究和教育事业。以下逐一扼要地介绍他的一些主要成就：

一、超流问题

早在20世纪初，实验就发现了，液态氦He在温度2.19K以下，会发生完全无阻滞的流动。这种在很低温度下的现象称为超流动或超流。对于超流现象，曾经有过一些不同的理论解释。

费曼从1953到1957年，系统地研究了超流问题。首先，他认为以往的每种理论都反映了实际问题的一个侧面，也都不够完整，因此，他动手以路径积分方法，用量子统计物理学的基本工具，从头计算这个问题。费曼的工作，最后可以得出在低温下系统会发生从常流体到超流体的“相变”的定性结论。不过，因为当时的条件所限，其预言在定量上还不能令人满意。后来，在20世纪80年代有人按照费曼的理论方案，用大型计算机做出其中的路径积分，便得到了与实验符合的结果。

二、弱相互作用理论

李政道和杨振宁1956年发表关于基本粒子弱相互作用中宇称不守恒

的理论，并且很快由吴健雄等在钴60的β衰变的实验研究得到证实之后，在全世界引起了一场轰动。

费曼认真地阅读李和杨的文章。当他看到文章上用来描写μ子衰变的相互作用公式时，领悟到有可能由此引伸出一种适用于包括β衰变在内的任何弱衰变过程的普遍理论。原来，1934年费米提出的β衰变理论，是涉及衰变初态及末态四个粒子（费米子）在内的一种直接相互作用。根据包括宇称守恒在内的相对论不变性的要求，这类相互作用可能有五种不同的独立形式：标量（S），矢量（V），张量（T），轴矢量（A）和赝标量（P）。现在，一些实验结果连同新发现的宇称不守恒现象，暗示着真正的相互作用，可能是V和A的叠加，也可能是S和T的叠加。不过，由于当时不同的实验小组所得的结果互相矛盾，一时未能做出最后的结论。

1957年夏天，费曼从他的同事玻姆（F.Boehm）那里了解到最新的实验进展，他们自己系里的实验小组已经开始得到倾向于V和A的结果。费曼马上用从李和杨的工作中受启发得到的，代表着最明显的宇称不守恒效应的，等量的V和A的叠加，即VA的作用形式进行计算。结果发现，同样的相互作用形式和同样的弱耦合常数可以很好地同时解释μ子衰变和中子（或原子核）的β衰变。

这时候，费曼的一位同事兼好友盖尔曼（M.Gell-Mann，1929—）刚从外地旅游回来。费曼得悉盖尔曼也正在做VA理论的工作，于是两人合写了一篇文章，发表在1958年的《物理评论》上。在他们阐述了弱作用的这种“普适VA理论”的这篇文章里，还提出了“矢量流守恒”（CVC）的假设。这指的是，中子β衰变的矢量耦合常数与μ子衰变的矢量耦合常数相等，反映了中子的弱耦合强度不会因为其参与的强耦合而发生改变。

盖尔曼和费曼的这一工作，标志着对弱相互作用的理解，从过去对

各个不同过程的分散研究，达到了一个普遍性认识的新阶段。费曼对他的这一成果很有点沾沾自喜，并且觉得：“这是我第一次发现一条新的定律。”他觉得自己关于量子理论方面的基本贡献，主要是提供了一种新的计算方法；而关于超流等研究工作，又仅仅是对于已经发现的现象的解释。只有这一次，才真正满足了他从小要找出物理学的规律，揭示自然之谜的梦想。

三、量子引力理论

引力理论是宏观物理学中的古老内容。20世纪初爱因斯坦提出的广义相对论，本质上是一种宏观的引力理论。量子力学建立以后，怎么将引力论和量子论结合起来，便成了物理学家们继续努力的下一个目标。费曼从20世纪60年代初期开始，致力于探讨这个问题。那个时候，关于理论上预言的、类似于电磁辐射那样的引力辐射或引力波是否是一种真正存在的物理对象，还没有取得统一的认识。

费曼坚信引力波的存在，并且用他所建立的路径积分方法，处理了引力场的量子理论。他的工作一方面用关于引力子的量子场论的方法重新给出广义相对论里的基本方程；另一方面则进一步对于近似（微扰）计算中所涉及的某些关键图形（圈图）的发散性质进行讨论，对量子引力问题做了一系列基础性的工作。

虽然引力场的量子化问题，迄今没有得到令人满意的解决；但是，费曼的处理方法的确是有开创意义的。例如，1962年，费曼首次用路径积分方法处理了引力理论中的规范不变性。后来，大家发现这种处理比传统方法更为有效，于是它就成了在20世纪70年代开始兴盛起来的规范场论的标准形式。

今天，费曼所提出的路径积分方法，已经被广泛地运用于包括粒子物理、核物理、原子物理、高分子物理、材料物理、经典波动分析和宇

宙论等各个物理学分支。

四、部分子模型

1968年上半年，费曼开始考虑像质子那样的强相互作用粒子（即强子）之间的碰撞。在能量很高的情况下，碰撞时间极为短促，质子还来不及作为整体参与作用。费曼认为，实际上在一次碰撞里发生作用的，只是质子里的一些点状的组成部分。在他看来，在高能碰撞时，质子等强子可以看成是由若干个在质子内部独立运动的点状粒子组成，这些粒子被他称为“部分子”。按照他的想法，高能强子之间的碰撞总概率，应当近似等于碰撞双方所含所有部分子两两发生碰撞的概率。

这时候，在斯坦福大学的直线加速器中心（SLAC）对电子质子的非弹性碰撞做了深入的实验研究。1967年，SLAC的布约肯（J.D.Bjorken）对实验结果进行分析，提出所谓“标度近似”，细致地反映了点状组分在电子质子的非弹性碰撞中的支配地位。

1968年8月，费曼来到SLAC访问，了解到那里的进展。费曼和布约肯发现，两人理论的主要想法竟然是不谋而合的，而费曼的分析方法则更为清楚和有效。于是，在SLAC兴起了一阵部分子模型的热潮，很快取得了一批有价值的成果。按照费曼的模型，每个部分子携带着整个质子的一个确定部分的能量和动量。因此，在对非弹性碰撞实验资料的分析中，就有可能得到关于质子以及一般的强子内部分布细节的了解。

部分子原是费曼用来分析碰撞动力学时引入的实体。而在早几年，盖尔曼通过对类似于元素周期表那样的强子谱的分析，提出过组成强子的更深层次的单元——夸克。物理学家们很快就证认出，费曼的部分子，主要的就是夸克。所以，也可以说，电子质子的非弹性碰撞数据表明了夸克在质子内部是近似做自由运动的。

五、在物理教学上的贡献

在物理学研究上取得累累硕果的同时，费曼许多年来一直坚持在教学第一线上。费曼热爱教学工作，他曾说过：“我不相信，我真的可以脱离教学而做得成什么。这是因为，我需要有事可做，使得当我头脑空空而且无处可去时，我可以对自己说：‘至少我在活着，至少我在做事；我在做着贡献。’”

费曼还认为，教课对自己的研究很有好处。他说：“如果你在教一门课，你可以思考那些已经熟知的基本的东西。……有没有更好的方式去表达它们？有没有与此相关的新问题？你可以从此得出什么新思想吗？……”“学生们的问题常常是新的研究工作的源泉。他们时常问我一些深入的问题，是我曾经考虑过多次而暂时搁下来的……他们的提问唤醒了我去思考有关的一些问题。靠你自己是不容易想到这些东西的。”“因此，我发现进行教学和同学生接触会使生活充实，并且我决不接受一个我不再从事教学的职位，即使有谁给我弄到了一个很舒适的位置。决不！”

从1961年秋季开始，费曼为低年级学生主讲了一次两年的物理学导论课。同他合作的是散兹（Matthew Sands）和莱顿（Robert B.Leighton）两位教授。这是由散兹发起的改革基础物理课程的一次尝试。在这两年内，费曼几乎用全力投入这项工作，他在课堂上的讲授全部录了像，后来据此整理出版成三卷本的《费曼物理学讲义》（以下简称《讲义》，编者注）。

费曼希望学生集中注意那些本质的东西。与有些教师着重于提高考试成绩，以及另一些教师着重于同后续课程的衔接或者将来的实际应用都不同，费曼宣称：“我讲授的主要目的，不是为你们参加考试做准备——甚至不是为你们服务于工业或军事做准备，我最想做的是向你们给出对这个奇妙世界的一些欣赏，以及物理学家们看待这个世界的方式，

我相信，这是现今时代里真正文化的主要部分。（或许有其他学科的许多教授会反对这一点，但我相信他们是完全错误的。）”

费曼的讲授不追求数学上的严格，也不落实于具体的应用，而是通过引人入胜的叙述，运用丰富而生动的例证以及深刻而精辟的议论，透彻地讲解各种物理现象的本质和规律。这套具有鲜明特点的《讲义》出版后，很快风靡全世界。它以强烈的感染力熏陶着一代又一代的年轻物理学家，伴随着他们闯进物理学的各个未知领域。与此同时，这套《讲义》亦成为广大物理教师案头必备的参考读物。人们普遍认为，这套《讲义》是费曼对物理学的一大贡献，他实际上起到了物理教学上的“众师之师”的作用。费曼后来也领悟到，他为此停下了两年的研究工作的确是很值得的。

除此之外，根据费曼在康奈尔大学和洛杉矶加州大学的讲演，先后出版了《物理定律的本性》（1964）和《QED：光和物质的奇妙理论》（1985）两本普及性的讲义。

不息探索的一生

费曼曾经指出，学习物理学有五个方面的理由。他的意思简单说来：第一是为了学会怎样动手做测量和计算，及其在各方面的应用；第二是培养科学家，他们不仅致力于工业的发展，而且贡献于人类知识的进步；第三是认识自然界的美妙，感受世界的稳定性和实在性；第四是学习怎样由未知到已知的、科学的求知方法；第五是通过尝试和纠错，学会一种有普遍意义的自由探索的创造精神。由此可见，在费曼看来，科学首先是一种认识世界的思想方法，学习科学不只是学到科学知识，更重要的是学会科学创造的精神和探索未知领域的方法。

费曼认为：“科学家是探险者，而哲学家是观光客。”又说：“我是一名探险家，我喜欢发现。”费曼的一生，正是勇于怀疑，不息探索的

一生。戴森这样说过费曼："首先，他不相信别人讲的所有东西。这是他的本性。他总是怀疑专家们告诉他的任何东西。他要从一个全新的观点，自己来理解物理学的基本规律。"那么，这种从未知到已知的探索是怎样进行的呢？

按照费曼的体会，发现新的科学规律，是从猜想开始的。他说："猜想从何而来是完全不要紧的；重要的是它要同实验相符合。"费曼还强调，理论是不可能由经验直接推出来的："现实经验的细节常常同基本定律相距甚远。"这里明显地表现出理性主义的光芒。那么，怎样提出猜想呢？费曼认为，历史的借鉴和哲学的启迪会有助于猜想。但是，戴森告诉我们，"费曼发现新事物，看来就好像玩魔术一样——他不是通过通常数学的普通过程做到这一点的，因为他可以通过某种稀奇古怪的过程猜出答案，他自己对其中的进程也不理解，而我们当然就更不清楚了。"

费曼的探索精神，并不限于在科学方面。他到世界上来一趟，不满足于只做一名观光客，而是要做一名探险者。在物理学界，早就流传着关于费曼各方面的一些轶事。晚年的费曼，同莱顿教授的儿子小莱顿（Ralph Leighton）成了好朋友。1985年，小莱顿把费曼平时所讲的故事整理汇编成集。这本"Surely You're Joking Mr.Feynman！"Adventures of a Curious Character出版后引起了世界性的轰动，连续十几周名列《纽约时报》最佳畅销书目。1989年，又出了第二集"What Do You Care What Other People Think?"Further Adventures of a Curious Character，这本书的书名，则取自费曼同阿琳之间的约定，此书也获得成功。

这两本书出版以后，好评如潮。例如《华盛顿邮报》评论道："仅从这本书就可以看出，费曼是一位极具独创精神的、才华横溢的、无限好奇的、富于活力的、调和折中的、热情奔放的、爱好交友的、精于嘲弄传统观念的人物，还可以看出他对科学的献身，对第一性原理的体

验，以及他才具有的关于实在的观点。”书中的各个故事，给我们勾画出费曼生活中的方方面面，被认为是他的自传式作品。

从这两本书和其他资料中我们了解到，费曼不仅研究物理学，而且也涉猎其他科学的领域。例如，他早期对噬菌体遗传现象的研究，导致在哈佛大学生物系的一次正式科学报告；他对玛雅象形文字的破译，发现了古人的天文学知识；他后来关于用量子力学讨论计算机能力的文章，也成了量子计算理论方面的经典。至于在洛斯阿拉莫斯工作期间，由于缺乏娱乐而设法破解密码去打开保险箱等小把戏，就更不在话下了。

也是在洛斯阿拉莫斯的时候，工余时间闲得发慌，费曼学会了击拍当地印第安人的鼓供自己消遣。后来，他竟成了一名邦戈鼓（bongo，一种非洲鼓）的业余演奏能手，而小莱顿是他的一个伙伴；他们不仅在学校里或者朋友们的聚会上助兴，而且还为正式的芭蕾舞演出登台伴奏过。此外，在巴西讲学期间，费曼也曾加入当地的桑巴（Samba，一种拉丁舞）乐队，操作一种打击乐器，参加狂欢节的巡游。

费曼在艺术上的另一方向的尝试是绘画。在Caltech的时候，他结识了一位画家左思安（J.Zorthian）。这位朋友自告奋勇地教授的结果，使从小就自认为缺少美术天分的费曼居然也像模像样地作起画来，并且还正式卖出过几张油画和素描。最后，在朋友们的怂恿下，在Caltech的教授俱乐部里，费曼举行了一次个人画展。费曼认为，他从这些活动里获得了很有价值的新鲜体验。

费曼的探索精神，充分体现在他的“嗅觉试验”里。在洛斯阿拉莫斯的时候，费曼对人们常说的警犬的嗅觉比人灵敏得多表示怀疑。他和阿琳做了一些简单的试验，结果：“我发现，警犬的嗅觉的确很灵敏，然而人类也并非像他们自己认为的那样差。”费曼把人类嗅觉效果比较差的原因归于人直立行走后鼻子离地面远了。他曾经试着在地下爬行，看

看能不能提高嗅觉的效果。后来，在朋友们的一个晚会上，他表演了他的嗅觉技巧，可以闻出不同人摸过的书本的气味。可是，由于费曼经常开玩笑甚至有点恶作剧，大家都不相信他真的是闻出来的。

费曼的所作所为，诚然不像一位模范人物。1954年春天，费曼被选为美国国家科学院院士。费曼觉得，如果参加这个团体的主要任务仅仅是投票决定有谁够资格享有这一荣誉，那就没有什么必要去凑数。但是，为了不辜负长辈和朋友们的期望，他仍然参加了一些活动。不过，最后费曼还是向科学院的院长提出了辞呈。他的这些表现，自然会被人认为是我行我素、玩世不恭，甚至是狂妄自大、行为乖张。

1945年阿琳逝世之后，费曼过了几年单身汉的生活。1952年在巴西的时候，在异国他乡只身独处的费曼，不免倍感寂寞。他想起了在康奈尔时结识的一位女友玛丽·露意丝·贝尔（Mary Louise Bell），于是远隔万里向她写了一封求婚信。得到接受之后，在1952年6月，刚从巴西回国的费曼便同玛丽结成夫妻。但是，玛丽是一位讲究虚荣并且过分好强的女性。她坚持要求费曼屈从于她，表现得像一个严肃庄重的教授，放弃不拘小节、自由自在的生活。两人终究过不到一起，他们只共同生活了四年，于1956年离异。

1958年夏天，费曼在去瑞士参加第二届国际和平应用原子能会议期间，在美丽的日内瓦湖畔遇到了一位年轻的英国女子温妮丝（Gweneth Howarth，1934—1989）。后来，通过相互的交往和了解，发现彼此适合于成为终身的伴侣。第二年，两人便结成夫妇，终于建立了一个稳固而和睦的家庭。他们生育了一个儿子卡尔（Carl Feynman，1962—），又收养了一个女婴，取名米歇尔（Michelle Feynman，1968—）。费曼从不强求他的子女去攻读物理学或者其他理科专业。事实上，卡尔大学本科起初主修哲学，后来改读计算机科学，米歇尔则成为了一名专业的摄影师。

1978年夏天，费曼因腹部疼痛就医。检查结果是患了一种癌症——脂肪肉瘤。这是一种会迅速蔓延的恶性肿瘤。在UCLA癌症诊所所做的外科手术中，从费曼腹部取出了差不多有足球那么大的一块病变组织，并且发现癌细胞已经侵入了脾脏和一个肾脏。

三年之后，到了1981年10月，复查又发现费曼腹部的癌肿重新长大，并且和肠子缠绕在一起。在接着进行的第二次手术中，发生了主动脉破裂的意外。这是一种异常凶险的情况，病人很容易由于大量失血而下不了手术台。当急救的消息传到Caltech的校园里后，数以百计的学生立即赶到医院，为他们敬爱的教授献了大约40升的血。手术做了14小时才结束，总算挽救了他的性命。

第二次手术之后，费曼过了几年病情相对稳定的日子。1986年1月28日，美国“挑战者号”航天飞机发射后不久发生爆炸，七名宇航员全部不幸遇难。费曼应邀到华盛顿去，参加为调查这一事故而专门成立的、由前国务卿罗杰斯（W.Rogers）牵头的总统委员会。

费曼很快发现，他的工作习惯同美国官方的办事作风格格不入。他拿出了当年在洛斯阿拉莫斯的劲头，独自到有关的机关和部门去了解和调查。1986年2月11日，在委员会全体出席的一个公开的听证会上，费曼当着电视摄像机的镜头，用一杯普通的饮用冰水做了一个演示实验，证明运载火箭连接部“O”形密封圈的材料，在发射时的低温下会失去弹性。正是由于这一原因，导致火箭燃料泄漏而起火爆炸。通过电视实况转播，一日之间，费曼成了一位在美国家喻户晓的科学明星。

这次的活动恐怕是费曼最后一次出远门了。1986年10月和1987年10月，为了对付继续生长的肿瘤，费曼相继接受了第三次和第四次手术，以至于他的腹腔的一侧几乎都被掏空了。费曼的腰向一边倾斜，他感到虚弱、疲倦和疼痛，并且时常表现得无精打采。但是，费曼仍然为研究生们讲授“量子色动力学”的课程。只有同科学和探险有关的话题能够激

发起他的精神与活力。

1988年2月3日，费曼情况不好，又一次住进医院。他的身体已经不能再动手术，他自己也不想用肾脏透析之类的手段来无谓地拖延生命。2月15日晚上，费曼结束了他不息探索和不停历险的一生，离70岁还有不到3个月。第二天，悲痛的学生们在Caltech密立根图书馆的顶层挂出了一块布幛，上面用醒目的大字写着“WE LOVE YOU, DICK”（Dick是费曼的名字Richard的昵称），表示他们的深切悼念。

[1]费曼于1965年获得诺贝尔物理奖。——译注

[2]这套讲义的第三卷即最后一卷于1965年出版。——译注

[3]这部中译本是根据1982年的原文版本译出的，这篇引言是根据1992年的原文版本添加的。——译注

[4]普朗克在1900年为了解决黑体辐射问题而提出的能量子概念，指的不是光而是发出辐射的腔体物质的振子的能量。光量子概念是爱因斯坦1905年提出的。——译注

[5]古希腊的阿利斯塔克（Aristarchus）曾经提出过太阳系的日心说。——译注

[6]第谷·布拉赫（Tycho Brahe，1546—1601），丹麦天文学家。——原注

[7]1弧分等于1弧度的1/60，1弧度约等于57.3°。——译注

[8]费曼在这里讲地面上的物体在1秒的时间内落下的距离，指的是从静止开始的第1秒（头1秒，不是“每一秒”）。这段距离数值上等于g/2（g是重力加速度），即等于4.9米，合16英尺。——译注

[9]罗默（Claus Roemer，1644—1710），丹麦天文学家。——原注

[10]亚当斯（John Couch Adams，1819—1892），英国理论天文学家。勒维尔（Urbain Leverrie，1811—1877），法国天文学家。——原注

[11]卡文迪许（Henry Cavendish，1731—1810），英国物理学家和化学家。——原注

[12]厄缶（Baron Roland Eötvös，1848—1919），匈牙利物理学家。——原注

[13]狄克（Robert Henry Dicke），美国物理学家。——原注（狄克于1916年出生——译注）

[14]“程式”（formulation），指理论程式，或者理论的“数学程式”（mathematical formulation）。有人用的“形式体系”的译法，不够确切和简练。——译注

[15]狄拉克（Paul Dirac），英国物理学家，与薛定谔分享1933年的诺贝尔（物理学）奖。——原注（狄拉克的生卒年份为1902—1984。——译注）

[16]金斯（James Hopwood Jeans，1877—1946），英国数学家、物理学家和天文学家。——译注

[17]斯诺（Charles Percy Snow，1905—1980），英国物理学家、文学家和社会活动家。1959年发表演讲“两种文化和科学革命”引起巨大反响。他的文集《两种文化》已在国内出版了两种中译本。——译注

[18]此处原文是“There is no royal road……”，直译是“没有……王室道路”；而这已经成为一句英语成语，意思是没有坦途或者捷径。——译注

[19]这里讲的棋赛指国际象棋，它的棋盘由两种颜色的小方格交错相间而成，棋子摆在方格当中，而不是像中国象棋那样摆在纵横线的交叉点上。——译注

[20]法拉第（Michael Faraday，1791—1867），英国物理学家。——原注

[21]原文如此。按原文前面写出的一道反应式，表示的是两颗质子由于相互碰撞而产生的一种反应，不适宜称为一种衰变。——译注

[22]原文误作“图3”。——译注

[23]在现代物理学里，热力学温度的单位开尔文（K）乘以玻耳兹曼常数k，频率的单位乘以普朗克常数h，以及长度单位（费米是一种长度单位）的倒数乘以适当的常数，都可以用来做能量的单位。——译注

[24]玻尔（Niels Bohr），丹麦物理学家——原注（玻尔的生卒年份为1885—1962。——译注）

[25]外尔（Hermann Weyl，1885—1955），德国数学家。——原注

[26]此处原文为translation in space。英语translation的本意是转移和迁移。在数学名词和物理学名词里定为“平移”，即不带转动的平行移动。但这里还没有谈到平行移动的概念，所以先说转移或者迁移也可以。至于“时间平移”的说法就有点不合适了，因为时间只有一维，何来平动和转动的分别？我们在下文里还使用了“时间迁移”的说法，因为在汉语里，“迁”既可以用于空间，亦可以用于时间。——译注

[27]麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879），英国剑桥大学的第一位实验物理学教师。——原注

[28]庞加莱（JulesHenry Poincaré，1854—1912），法国科学家。——原注

[29]伽利略这本著作原名“关于两门新科学的谈话”，英译本改成《关于两门新科学的对话》。费曼原文说的是一种想象的狗骨的多幅图像，但伽利略的书中只有一幅假想的巨兽骨头的图像（图27），并且没有指明是狗骨。译文根据伽利略的原文做了改动。——译注

[30]傅科（Jean Bernard Léon Foucault，1819—1868），法国物理学家。——原注

[31]巴斯德（Louis Pasteur，1822—1895），法国细菌学家。——原注

[32]开塞钻（cork-screw），用来拔出酒瓶木塞的螺旋形器具。——译注

[33]莫里森（Philip Morrison），美国物理学教授，参看1964年英国广播公司第一套节目（BBC1），电视系列讲座“原子的构造”。——原注

[34]李政道和杨振宁，中国物理学家，共享1957年诺贝尔奖。——原注

[35]1995年第一次在实验室中观察到反氢原子。——译注

[36]尤克斯利（uxley）和乌克斯利（wuxley）是费曼生造的两个单词，音译如上。——译注

[37]后来的实验证实了在弱作用过程中，例如在中性K介子的衰变过程中，确有微小的时间逆转不守恒的效应。——译注

[38]1亿亿亿=10^{24}，相当于阿伏伽德罗常数的量级。——译注

[39]参看《费曼物理学讲义》第一卷第46章。——译注

[40]霍伊尔（Fred Hoyle），英国天文学家，剑桥大学。萨尔皮特（Edwin Salpeter），美国物理学家，康奈尔大学。——原注

[41]原文大多数场合说的是“小孔”（hole），亦有个别地方说的是“狭缝”（slit），意义其实是相通的，译文依照原文不改。——译注

[42]I是英语名词intensity（强度）的第一个字母。——译注

[43]干涉的原意指压制和削弱，而物理学里的用法不同，可以是削弱也可以是加强。

——译注

[44]原文为extra-sensory perception，大致相当于我国常说的“特异功能”。——译注

[45]原文为“四打”，是一个约数。为阅读方便，改成“五十”。而且下文的确亦有“五十种……粒子”的说法。——译注

[46]门捷列夫（Dimitri Ivanovitch Mendeleev，1834—1907），俄国化学家。——原注

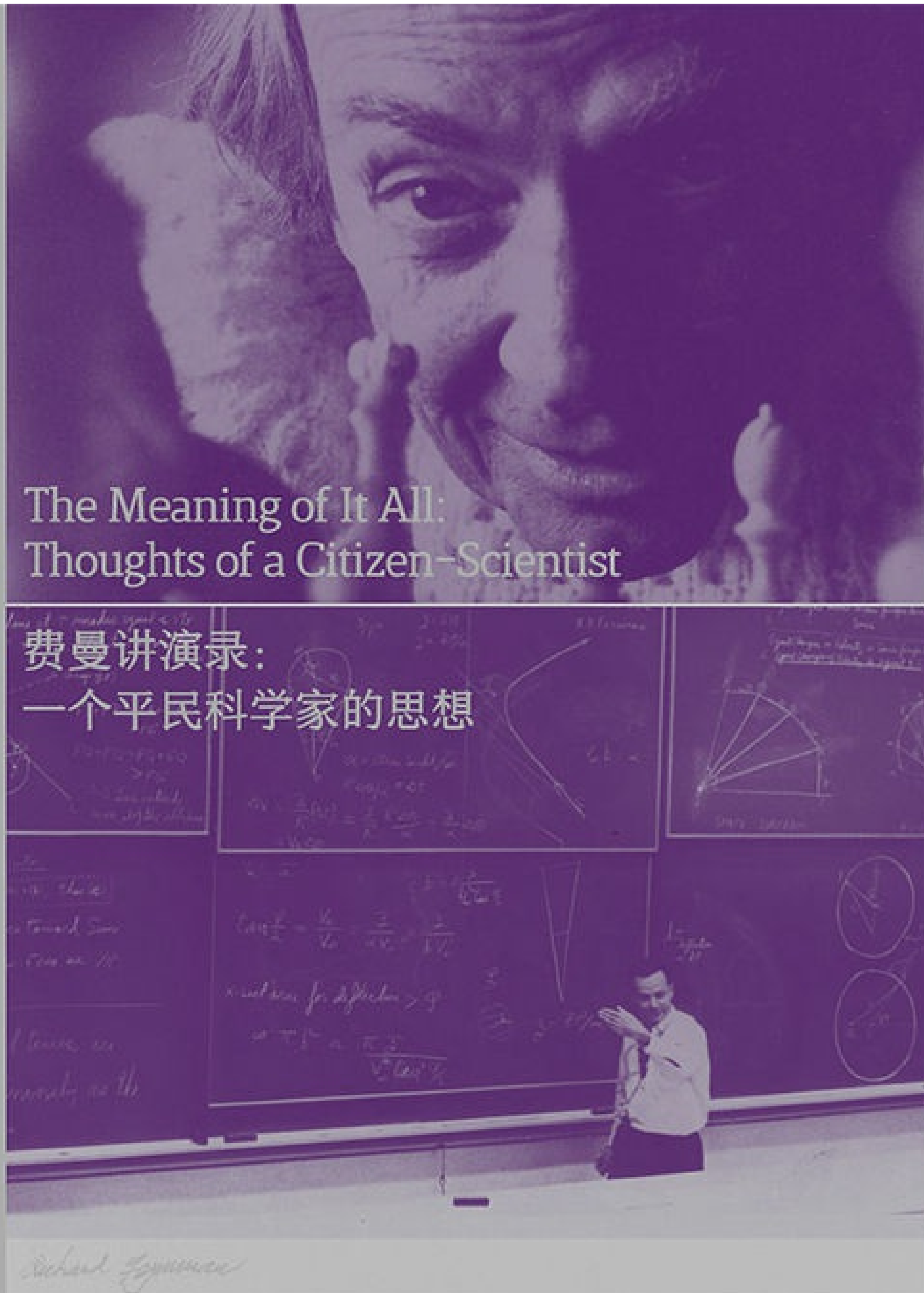
[47]梅厄（Maria Mayer，1906—1972），美国科学家，获得1963年度诺贝尔奖，1960年起任加利福尼亚大学物理学教授。简森（Hans Daniel Jensen，1907—1973），德国科学家，获得1963年度诺贝尔奖，1949年起任海德堡大学理论物理研究所所长。——原注（两人的生卒年份为译者所添加）

[48]原文为disprove，意思是“证明……不成立”，这里译成“否证”，即“否定的证明”的简称，与在文献中见到得比较多的、通常译为“证否”的falsification意义相近。——译注

[49]汤川秀树（Hideki Yukawa，1907—1981），日本物理学家。京都大学基础物理学研究所所长。获得1949年度诺贝尔奖。——原注（生卒年份为译者所添加）

[50]薛定谔（Erwin Schr dinger，1887—1961），奥地利理论物理学家。同狄拉克共获1933年度诺贝尔物理学奖。——原注（生卒年份为译者所添加）

[51]“牡吐”和“咕噜”的原文是moo和goo，都是费曼生造出来的单词，音译如上。——译注



The Meaning of It All: Thoughts of a Citizen-Scientist

费曼讲演录：一个平民科学家的思想

Richard P. Feynman

[美] 理查德·费曼 著　王文浩 译

湖南科学技术出版社

版权信息

费曼讲演录：一个平民科学家的思想

著者：[美]理查德·费曼

翻译：王文浩

责任编辑：吴炜　孙桂均　李蓓

书籍设计：邵年

ISBN：9787571000165

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息
出版者注
第1章 科学的不确定性
第2章 价值的不确定性
第3章 这个不科学的年代
理查德·费曼生平
译后记

出版者注

1963年4月，作为约翰·丹茨（John Danz）讲座系列的一部分，理查德·费曼应邀为华盛顿大学（西雅图）做了3次晚间演讲。在此是第一次结集出版。我们衷心感谢卡尔·费曼和米歇尔·费曼使本书的出版成为可能。

第1章 科学的不确定性

我想直截了当地就科学对其他领域各种思想的冲击这一主题谈谈我自己的看法，这也是约翰·丹茨先生特别希望探讨的议题。在这个系列讲座的第一讲里，我将讨论科学的本质，特别是要强调其中存在的可疑性和不确定性。在第二讲里，我将讨论科学观点对政治问题特别是对国家的敌人的影响，以及对宗教问题的影响。而在第三讲中，我将描述我是如何看待这个社会的——我想说的是，一个从事科学的人是如何看待这个社会的，但这只是我个人的实际感受——此外我还将谈到未来的科学发现有可能产生什么样的社会问题。

对于宗教和政治我知道些什么呢？你们学校物理系的和其他地方的一些朋友取笑我说："我们也想来听听你讲的啥。我们还从来不知道你对这些问题这么有兴趣。"当然，他们的意思是指我对这些问题感兴趣，但我未必敢说出来。

人们在谈论某一领域中的思想观念对其他领域思想观念的影响时，搞不好就会丢人现眼。在当今这个强调专业化的时代，很少有人能够深入掌握两个不同领域的知识，从而使自己立于不败之地。

今晚我在这里要描述的都是些古老的观念。这些观念差不多早在17世纪就被哲学家们谈论过。那么为什么还要重复讨论这些观念呢？这是因为每天都会有新一代的人出生。因为人类历史上形成的这些伟大观念需要我们特意地、明确地、一代一代地传承下去，否则就会失传。

许多古老的观念已成为常识，没必要再予讨论或解释。但我们环视

周围就会发现，那些与科学发展问题相联系的观念则并不是每个人都能正确理解的。诚然，很多人都懂科学。特别是在大学里，大部分人都明白科学意味着什么，也许你就是其中之一，本不该来听我絮叨。

要讲清一个领域的观念对另一领域的影响很不容易，我将从我了解的科学现状开始讲起。我确实了解科学，知道它的思想和方法，它对待知识的态度、它进步的动力以及它对心智的训练。因此在这第一讲里，我想谈一谈我所理解的科学。我会把那些较为出格的议论放到下两讲里去，我猜想，届时听众会较少。

科学是指什么呢？这个词通常用来指下述三种情形之一，或是这三种情形的综合。我不认为我们需要说得十分精确——过于精确并不总是一个好主意。有时候，科学是指发现事物的具体方法，有时则是指从所发现的事物中产生出来的知识，最后它还可能是指你发现一事物之后可以做的新东西，或是你创制新事物这一过程本身。这最后一个方面通常称为技术——但如果你读一读《时代》（Time）杂志的科学栏目，你会发现，约有50%的内容是谈发现了什么新东西，还有50%是谈有什么新东西可以做或正在做。因此科学的通俗定义也包含部分技术内容。

我想按相反的顺序来讨论科学的这三个方面。我将从你可以做的新事物——也就是说，从技术——开始谈起。科学最明显的特征是它的应用特性。科学带来的结果是使我们有能力做许多事情。这种能力的效果几乎用不着多做解释。离开了科学发展，整个工业革命几乎就不可能发生。今天，我们能够生产出供应如此众多人口所需的充足的粮食，能够控制疾病——而所有这些事实都是在不必限制人身自由、不必像奴隶般全力生产的条件下取得的——这些事实之所以成为可能，可以说都是生产手段的科学发展的结果。

但是，这种做事的能力却并不附带如何运用它，是用它来为善还是为恶的说明，因此结果是好是坏全在于如何运用它。我们都乐见改进生

产工艺，但由此却带来了自动化的问题；我们都对医学的发展感到满意，但转眼就为新生儿的数量之多感到担忧，担心因为疾病的灭绝而没有人死亡。还有，同样是掌握了细菌知识，有些人则躲在秘密实验室中拼命工作，以期培养出没人能对付的病菌。我们为航空运输业的发展感到高兴，那些大飞机真是令人印象深刻，但我们也意识到空战的恐怖。我们对国家间的通信能力感到欢欣鼓舞，接着却担心容易被监听。我们对人类进入太空感到兴奋不已，但这一领域无疑也将遇到麻烦。所有这些不平衡中，最有名的当属核能的发展以及由此带来的明显问题了。

科学到底有什么价值？

我认为，做事能力总是有价值的，至于结果是好是坏则取决于它如何被运用。但能力本身是有价值的。

我曾在夏威夷被带去参观一座佛教寺庙。在庙里有人对我说，“我要告诉你一个你永远不会忘记的事实。”然后他说，“上帝给了每一个人开启天堂之门的钥匙。这把钥匙也同样能打开地狱之门。”

这句话同样适用于科学。在某种程度上，科学是开启天堂之门的钥匙，但它同样可以打开地狱之门。我们没有得到任何指点来知晓哪个门是通往天堂之门。但为此我们就该把钥匙扔掉，从此放弃进入天堂之门的求索？抑或我们该就什么是运用这把钥匙的最佳方式继续争论？这当然是个非常严肃的问题，但我认为，我们不能就此否认这把天堂之门的钥匙本身的价值。

所有关于社会与科学之间关系的重大问题都在上述讨论的范围之内。当科学家被告知，他必须更多地负起社会责任时，指的往往就是科学的应用方面。如果你从事的是开发核能的工作，你就必须认识到它也可以为害。因此在由科学家进行的这类讨论中，你会预料到这可能是最重要的议题。不过，我不想在此进一步谈论这一点了。我认为将这些问

题看作是科学问题显然夸张了。它们更应当被看成是人道主义问题。事实上，如何运用这种能力是明确的，但如何控制它则不那么显然，后者已不属于科学范畴，不是科学家很懂的事情。

让我用一个例子来说明为何我不想谈论这些。前些年，大约在1949年或1950年前后，我在巴西教授物理学。当时有一个所谓“点四”项目，非常令人振奋——每个人都打算去援助欠发达国家。当然这些国家需要的是技术诀窍。

在巴西，我住在里约市。里约的山上有不少由旧招牌拆卸下来的碎木块等搭建的居所，住在这里的人极为贫困。他们没有下水道，也没有水。为了用水，他们得头顶着旧汽油箱下山，到正在盖新楼的建筑工地去取水，因为搅拌水泥要用水。人们将油箱注满水然后再把它们提上山。过后不久，你会看到有水从山上肮脏的污水管流下山来。整个情形非常可怜。

紧挨着这些小山就是科帕卡巴纳海滩上令人心动的建筑群，漂亮的公寓……

我对“点四”项目的朋友说：“这该是个技术方面的问题吧？难道他们就不知道如何修一条水管把水引上山？难道他们就不知道铺设水管到山顶后，至少可以拎着空箱子上山然后把装满脏水的水箱带到山下？”

因此，这不是个技术问题。我们之所以可以肯定，是因为在紧邻的公寓楼里就有管道，有泵。现在我们认识到，这是一个经济援助的问题，但我们不知道这种经济援助是否真的有效。在每座山顶建一条管道和水泵成本是多少？这种问题在我看来似乎不值得在这里讨论。

虽然我们不知道如何解决这个问题，但我要指出，我们已试着做了两件事：技术支持和经济援助。尽管这两方面结果都不是很理想，但我

们还会尝试别的东西。正如随后你将看到的，我觉得这一点令人鼓舞。我认为，不断尝试新的解决方案就是解决一切问题的途径。

这些是科学的实际应用方面，也就是你可以做的新的事情。其道理是如此明白，我们没必要继续讨论下去了。

科学的另一个方面是它的内涵，即迄今人类已取得的发现。这是成果，是黄金，是令人振奋的宝藏，是你训练有素的思考和辛勤工作所获得的回报。这种科学工作不以致用为目的，而是为了获得新发现带来的那股兴奋劲儿。也许你们大多数人都了解这一点。但是对那些还不了解这一点的人来说，要让我在一次演讲中就让他领悟到科学的这一重要方面，这种令人兴奋的体验，科学发展的真正动因，几乎是不可能的。不明白这一点的人是没法把握科学实质的。你只有了解并能够鉴赏我们这个时代的这一伟大的激动人心的非凡经历，你才会懂得科学的精髓，才能理解科学与其他事物的关系。你应当明白，科学活动就是一次巨大的探险，一种冲破约束、令人激动的探索，否则你就谈不上生活在这个时代。

你是不是认为这很乏味？其实不是这样。要将科学表达清楚是最困难的，但我也许可以给出一些有关的概念。我们随便找个概念从哪说起都行。

例如，古人认为大地是大象的背，这头大象则站在一头在深不可测的海面上四处游弋的海龟的背上。当然，大海又是靠什么支撑的则是另一个问题。这个问题古人答不上来。

古人的这一信念是想象力的结果。这是一种充满诗意的美好想法。再看看我们今天是怎样看待这一问题的，你会觉得乏味吗？世界是一个转动着的球，整个球面上站满了人，有些人倒立着。我们就像是炉火前的烤肉叉在不停地转动。我们围绕太阳在旋转。这是不是更浪漫，更令

人兴奋？那么是什么支撑着我们不掉下去呢？是引力。引力不只是地球上才有的东西，而且是使地球从一开始就成为球状，使太阳不至于分崩离析，使地球围着太阳运行永远不会脱离轨道的东西。引力不仅支配着恒星，而且支配着恒星之间的关系，无论多远，无论在什么方向上，它都能让它们在巨大的星系里各就其位。

已经有很多人描述过我们这个宇宙，而且还将继续描述下去。宇宙未知的边缘就像前面诗情画意般描述的深不可测的大海海底——神秘，给人以启迪，也不完整。

但是，大自然的想象力之雄阔远非人类可比。没有人能够想象出大自然会如此壮美，如果他没有通过观测对此有所了解的话。

再譬如地球和时间。想必你已经通过诗人的描写了解了什么是时间，但那种时间概念怎可与真实时间——那种漫长的演化过程——的内容之丰富相比？哦，也许我说得太快了点。这么说吧，起先，地球上没有任何生命活动。几十亿年间，这颗星球就这么旋转着，日升日落，波涛翻滚，大海的喧嚣没有任何活物来欣赏。你能想象、品味或设想一个没有生命的世界会有什么意义吗？我们都习惯于从生命角度来看世界，这使我们无法理解没有生命将意味着什么，可是在相当长的时间里，这个世界就是在没有生命的情形下度过的。而且在宇宙中的大部分地方，今天仍是什么生命都没有。

就拿生命本身来说，生命的内部机制和各部分的化学组成是十分完美的。业已证明，所有生命都是与其他生命相互关联着的。叶绿素是植物进行光合作用重要的化学物质。它具有正方形结构，这种漂亮的环结构称为苯环。与植物相去甚远的是像我们人这样的动物，而在我们人体的含氧系统即血液中，血红蛋白也具有同样有趣而奇异的正方形环结构。只不过环的中心是铁原子而不是镁原子，因此它们不是绿色而是红色的，但它们的环结构完全相同。

细菌的蛋白质和人体的蛋白质是相同的。事实上，最近发现，细菌制造蛋白质的机制可以接受来自红细胞物质发出的指令来产生血红蛋白。各种生命形式之间就是这样接近！生物在深层次化学结构上的这种共性确实非常神奇而完美。但长期以来我们人类却一直骄傲得甚至看不到我们与其他动物之间的这种亲缘关系。

再说说原子。那叫一个漂亮——晶体里以某种模式重复排列的小球可以延绵数千米长。看上去宁静不动的东西，比如盖着盖子的玻璃杯里的水，可以放在那里好几天，但其实是无时无刻不在运动。原子脱离液面，又反弹回水里。在我们肉眼看起来平静的现象实则充满了混乱和剧烈的运动。

还有，也已发现，整个世界都是由相同的原子组成的，恒星的组成也和我们一样。这就带来了一个问题：这些物质来自何处？这里不是说生命来自何处，也不是说地球来自何处，而是要追问形成生命和地球的物质来自何处。看起来好像可以认为，它们来自某些恒星爆炸喷射出的碎片，就像我们今天看到的恒星爆炸时的情形一样。这些碎片在45亿年的时间长河里不断演化着，最后变成现在这样：一奇异的生物拿着器具站在这里对着号称听众的奇异的生物进行宣讲。世界够奇妙吧！

我们再以人类生理学为例。其实我说什么区别都不大。如果你看事情足够仔细，你会看到，没有任何东西能比科学家经过艰苦努力发现的真理更令人振奋的了。

在生理学里，你可以设想一下泵血过程。女孩子在做剧烈的跳绳运动时，体内会发生什么变化呢？血被泵出，交错连接的神经系统会很快将肌肉神经的反应回馈至大脑，说，“现在我们已经触及地面，赶紧提高血压，否则就要伤到脚后跟了。”当女孩上下跳跃时，还有另一组肌肉系统在工作，与之相连的另一组神经在数数：“一、二、三、奥利里、一、二、……”她在做这些的同时，也许还在对看着她的生理学教

授微笑。这也是泵血和肌肉神经反应的过程！

然后再说说电。正电与负电之间的吸引力是如此强大，以至于在所有正常物质中，全部正电与全部负电达到精确的平衡，每种电荷都紧拉着另一种电荷。在很长一段时间里，甚至没有人注意到电现象，只是在摩擦琥珀后发现它能吸起纸片。然而今天，我们在摆弄这些东西时发现，这里头还真有大量机理存在着。可惜这些科学机理还不能彻底被欣赏。

举个例子，我读过法拉第的《蜡烛的化学史》，一本根据他前后6次为青少年做的圣诞节讲座编成的书。法拉第演讲的要点是，不管你观察什么，只要你观察得足够仔细，你就会涉及整个宇宙。由此，他通过观察蜡烛的每一个特点，搞懂了燃烧、化学等。但这本书的序言在描述法拉第的一生和他的一些发现时却解释说，法拉第发现，化学物质电解时所必需的电量与被电解的原子数和电离价之积成正比。这篇序言还进一步解释说，他所发现的原理今天已应用于镀铬和铝阳极氧化着色，以及其他数十项工业应用中。我不喜欢这种陈述。我们还是来听听法拉第自己是怎么论述他的发现的：“物质的原子以某种方式被赋予电性或与电能相关联，并因此显露出它们最显著的特性，其中就包括它们相互间的化学亲和力。”法拉第发现了使原子如何结合在一起的东西，这个东西也决定着铁和氧的结合并由此形成氧化铁，其中一些带正电，另一些带负电，它们按一定的比例彼此吸引。他还发现，原子中的电荷是按单位出现的。这两者都是重要的发现，但最令人兴奋的是，这两个发现成了科学史上最富戏剧性的罕见时刻之一：两大领域走到一起，得到统一。法拉第突然发现，表面上两个明显不同的两件事情实则为同一件事情的不同方面。有人研究电学，有人研究化学。突然人们发现它们是同一件事情——电场力导致化学变化——的两个方面。今天人们仍然是这么理解的。因此，单说这些原理仅被用在镀铬上是不可原谅的。

正如你们知道的那样，生理学上一有新发现，报纸就会以标准的字句刊出：“发现者说，这项发现有可能用于治疗癌症。”但报纸却不能说明这项发现本身的价值。

试图理解大自然的运作方式是对人类的推理能力的最大考验。它涉及许多奇技妙想。你必须走过逻辑的美丽索道来避免在预测将要发生的事情时出错。量子力学和相对论的一些概念就是这样的例子。

这一讲的第三个方面是谈科学作为发现的方法。这个方法是基于这样一条原则：观察是判断某种东西是否存在的判官。如果我们认识到观察是一个概念的真理性的最终判据，那么科学上的所有其他方面和特征就都可以直接得到理解。但是，这里所用的“证明”其真正含义是“检验”，就如同100度的酒，这里100度是对标准酒精含量的一种检验。对当今的人来说，这个概念应该被解释为“通过例外情形来检验法则。”或者换一种说法，叫“用例外情形来证明该法则是错的。”这是一条科学原理。就是说，如果某项法则出现了一个例外，而这个例外又能够通过观察得到证实，那么该法则就是错的。

任何法则的例外情形本身是最有趣的，因为它向我们表明旧的法则是错的。于是最令人兴奋的事情就是去寻找什么是正确的法则，如果这种正确法则存在的话。人们通常在能够产生类似结果的其他条件下来研究例外情形。科学家总是试图找出更多的例外情形，并确定这些例外的特性，这是一个随着研究进展能给人带来持续不断的兴奋的过程。科学家不会设法掩饰既定法则的错误，实际情形正好相反，找出例外才会带来进展和兴奋。科学家总是试图尽快证明自己错了。

以观察为判决者这一原则为哪些是能够回答的问题施加了一道严格的限定。这些问题只限于如下情形，你可以这样问：“如果我这样做，会有什么结果？”可以有好些方法用来尝试。而像“我该这么做吗？”或者“这么做值吗？”这样的问题就都不属于这种情形。

但如果一件事情不是科学性质的，如果它不能通过观察得到检验，这并不意味着它是死路一条，是错的或是愚蠢的。我们不是要证明科学的就是好的，其他的都不好。科学家研究所有通过观察可以分析的事情，因此能称为科学的事情都能被发现。但是那些无法通过观察来分析的事情则排除在外。这并不是说这样的事情不重要。事实上，它们在许多方面非常重要。例如在决定采取行动前，你必须下定决心，因此总会涉及“应当”的问题，这个问题就不能单独用“如果我这样做，会有什么结果？”的方式得到答案。你会说，“当然可以，你看到会发生什么，然后决定是否让它发生。”但是这一步正是科学家无能为力的。你可以搞定会发生什么，但你必须决定你是否希望这样的结果。

遵循以观察作为判定依据这一原则进行的科学研究会带来一系列技术上的结果。例如，观察不能太粗糙。你必须非常小心。仪器里可能有一些沾上灰尘的地方，从而使观察对象的颜色发生变化；而这是你不曾预想到的。你必须非常仔细地检查观察条件，完了之后还须复查，以确保你掌握所有条件，并且不会发生误解。

有意思的是，这种彻底性，尽管是一种美德，往往还是会被误解。当有人说某件事已经得到了科学处理时，他的意思往往是这件事得到了彻底处理。我听到有人说德国对犹太人的灭绝进行得很“科学”，其实这与科学一点都不沾边，只不过是强调进行得很彻底。因为这其中不涉及先进行观察然后检查结果从而确定事情的问题。如果按照这种理解，那么早在科学远不像今天这么发达，观察也不像今天这么受重视的古罗马时代和其他时期，就已经有这种“科学”的大屠杀存在了。因此在这种情况下，人们应该用“彻底”或“彻彻底底”而不是用“科学”来修饰。

如何进行观察有许多专门技术，常说的所谓科学哲学就是讨论这些技术问题的。对观察结果进行解释就是其中的一个例子。例如有个很著名的笑话是说一个男人向他的朋友抱怨说，他发现了一个神秘的现象：

他农场里的白马要比黑马吃得多。为此他很担心，而且对此感到不解。后来他的朋友提醒他，可能他养的白马要比黑马多。

这听上去有些可笑，但想想我们在进行各种判断时有多少次犯下了类似的错误。你说“我姐姐得了感冒，并在两周内……”，其实你想一想，这是不是也是这样一种情形。科学推理需要一定的训练，我们应该开设这种训练，因为在今天即使是最低级的这类错误也是不必要的。

科学的另一个重要特点是它的客观性。客观地审视观察结果是非常必要的，因为作为实验者你可能会偏爱某些结果。你做了几轮实验，但由于存在各种不确定性，譬如落有灰尘，因此每次结果都会不一样。你不可能控制一切条件。但你希望出现某种特定的结果，因此当这种结果出现时，你就会说，“看见了吧，就是这结果。”你再做一遍实验，结果不同。那是因为你前面的实验也许受到污染，但你忽略了它。

这些事情似乎显而易见，但人们在确定科学问题或跟科学沾点边的问题时却没有对此给予足够的重视。例如，在你分析股票涨跌是不是因为总统说过或没说什么的问题时，就可能是这种情形。

另一个非常重要的技术性要点是，法则越具体就越有趣。理论陈述得越明确，人们就越有兴趣去检验。如果有人提出说，行星之所以围绕太阳转，是因为所有的行星物质都有一种运动倾向，一种变动不居的特性，我们把它叫做“活力劲儿（oomph）”。这个理论也可以解释其他一些现象，因此是一个好的理论，是不是？不，与“行星绕日运行是因为受到向心力的作用，这种向心力的大小反比于到中心距离的平方”这样的命题相比，前者可以说是一无是处。第二个理论之所以较好，是因为它很具体，很明显这绝非偶然。它说得如此明确，以至于只要运动出现一丁点误差就可以判明其对错，除此之外这些行星可以随意摆动。但根据第一种理论，对这种摆动则解释成，“嗯，‘活力劲儿’的行为是有点古怪。”

因此，法则越具体，其威力就越强大，同时也就越容易出现例外情形，因而也就越有趣，越值得检验。

语词可以变得毫无内容。如果一堆语词像“活力劲儿”的例子那样堆砌起来，我们从中得不到任何明确的结论，那么，这些语词构成的命题就几乎毫无意义可言，因为你根据该事物具有好动的秉性这一断言就可以解释几乎任何事情。哲学家对此有过很多论述，他们说每个词必须有非常准确的定义。其实我不太同意这个观点。我认为极端精确的定义通常是不值得的，有时是不可能的——实际上大多数情况下都是不可能的，但在这里我不想就这个问题继续讨论下去。

许多哲学家在谈到有关科学的问题时，大多数内容其实是关于“如何确保某种科学方法行之有效”这样的技术层面的问题。至于这些技术要点是不是适用于不以观察作为判据的领域就不得而知了。我不会说任何事情都要用观察检验的方法来判定。在不同的领域，斟词酌句或法则的具体性等也许并不是这么重要。我说不好。

在上面所谈的内容里，有很重要的一点我没谈到。我说观察是一个概念是否含有真理的判决者，但这个概念从何而来的呢？科学的快速进步和发展要求人类发明出一些东西用以检验。

在中世纪，人们认为只要多做观察，观察结果本身就会产生出法则。但这种做法并不有效。在这里想象力更为重要。因此接下来，我们要谈的是新概念从何而来。实际上，重要的是要有新概念，至于它们从何而来并不重要。我们有办法检验一个概念是否正确，这与它来自何方不相干。我们只管检查它是否与观察结果相抵触。因此在科学上，我们对一个概念是怎么产生的并不感兴趣。

不存在决定什么是好概念的权威。我们早已不需要通过权威来确定一个概念的正确与否。我们可以参考权威的意见，请他提出某些建议。

然后我们可以尝试这些建议，看看它们是不是正确。如果不正确，甚至更糟糕——那么，“权威”也就失去了其“权威”。

起初科学家之间的关系充满争执，因为他们属于一群最能辩的人。例如，早期物理学就是这种情形。但今天物理学界里的关系则非常好。科学论战可能会充满着笑声，争论双方都有不确定性，双方都在构思实验并打赌说会出现什么结果。在物理学里，积累的观测数据是如此丰富，你几乎不可能想出什么新概念，它既不同于此前已有的概念，又能够与现有的所有观察结果相一致。因此，如果你从什么地方的什么人那里得到了新东西，你只会高兴，不会争论说为什么其他人说什么什么的。

许多学科还没有发展到这一步，而是有点类似于物理学初期的情形，当时有很多争论，因为没有那么多观察结果可凭据。我提出这一点是因为这是一个有趣的现象：人与人之间的关系，如果有一套独立的检验真理的方式，就会变得不那么争论不休。

大多数人都觉得奇怪，在科学上，人们并不关心某个概念提出者的背景，或他提出这一概念的动机。你只需要听，如果这个点子听起来值得一试，而且可以一试，它与众不同，却并不明显与以前的观察结果相抵触，那么它就会令人兴奋并值得去试。你不必在意他研究了多久，为什么他会找到你来讨论。从这个意义上说，这个想法出自何处无关紧要。它们的真正源头是未知数，我们称之为人类大脑的想象力，一种创造性的想象力——要说它是已知的，那它就是一种“活力”。

令人惊讶的是人们不相信科学研究中存在想象力。这是一种非常有趣的想象力，它不同于艺术家的想象力。发挥这种想象力最难的是你要构想出一种你从来没有见过的东西，它的每一个细节都与已有的东西相一致，但它本身则与所有已能想到的不同。此外，它必须非常明确，而不是一个模糊的命题。这确实困难。

顺便说一句，我们有各种可进行检验的法则这本身就是个奇迹。有可能找到一条法则，如万有引力的平方反比律，就是某种奇迹。我们对这条法则可能并不完全知其所以然，但它能提供预测的可能性——这意味着它能告诉你在你还没进行的实验中你能预期会发现什么。

有趣的是，同时也是绝对不可或缺的是，各种科学法则之间是相互一致的。由于观测结果具有同一性，因此对同一个现象不可能出现一条法则预言的是这种结果，而另一条法则预言的则是另一种结果的情况。因此，科学不是某个专家的专利，它完全是普适的。我在生理学中讨论原子，在天文学、电学和化学里也讨论原子。它们都具有普适性，都必须相互一致。你不能用不能由原子构成的新事物来作为开端。

有趣的还有，推理在猜测法则的过程中很有用，各种法则，至少在物理学里是这样，会因此变得减少。我在前面给了将化学里的一条法则和电学里的一条法则合而为一的例子，这是减少法则的一个很好的例证。但还有更多的例子。

描述自然的法则似乎都具有数学形式。这不是以观察结果作为判据的结果，也不是科学所必需的一种特性。而只是表明，至少在物理学领域是这样，你可以将定律写成数学形式，这样会具有强大的预测能力。至于大自然为什么是数学的，同样也是一个未解之谜。

现在我要谈一个重要问题，那就是旧有的定律可能是错的。观察怎么会不正确呢？如果它已得到仔细检查，结论又怎么会不对呢？为什么物理学家总在变更定律呢？答案是，第一，定律不是观察结果；第二，实验总是不精确的。定律都是猜中的规律和推断，而不是观察所坚持的东西。它们只是好的猜想，到目前为止一直都能通过观察检验这把筛子。但后来知道，眼下的这把筛子的网眼要比以前使用的更小，于是这条定律就过不去了。因此说，定律都是猜测出来的，是对未知事物的一种推断。你不知道会发生什么事情，所以你需要猜测。

例如，我们一度曾认为——人们发现——运动不会影响到物体的重量，就是说，如果你旋转一个陀螺并称量它，然后在它停止后再称量它，结果称出来的重量相同。这是一个观察的结果。但是你不可能将物体重量精确到小数点后无限多位，譬如十亿分之一。但现在我们知道，旋转的陀螺要比静止的陀螺重不到十亿分之一。如果陀螺旋转得足够快，使得边缘速度接近每秒186000英里[1]，那么重量就增加得很可观了——但现在我们还做不到这一点。第一次对比实验是陀螺的速度远低于每秒186000英里的条件下进行的。转动的和静止的陀螺质量读出来都一样，于是人们猜想，质量不随运动状态而变化。

多么愚蠢！真是一个傻瓜！这只是一种猜测，一种外推。他怎么会做出如此不科学的事情来？其实这里无所谓不科学，只是不确定。不做猜测那才真叫不科学呢。人们一定会这么做，因为在这里推断是唯一真正有价值的事情。只有面对尚未有人尝试过的局面来预言将会发生什么事情，才值得去做。如果你能告诉我的只是昨天发生的事情，这种知识没有什么真正的价值。有用的知识必须是，如果你做了一些事情，就能告诉我明天会发生什么——这不仅必要，而且也很好玩。只是你必须愿意承担出错的风险。

每一条科学定律，每一条科学原理，每一项观察结果的陈述都是某种形式的删繁就简的概述，因为任何事情都不可能得到准确的描述。上述那位猜测者只是忘了——他本该这样来陈述定律：“只要物体的速度不是太大，物体的质量就不会有明显变化。”这种游戏就是先制定明确的法则，然后再看它是否能通过观察之筛。因此，这里具体的猜测是，质量从不改变。多么令人兴奋的可能性！不管实际情形是不是如此，它都没有害处，只是不确定。而不确定性并不造成损害。提出一种猜测尽管不确定但总比什么都不说要好。

有必要指出，实际情形也确实是这样，我们在科学研究中所说的一

切，所得出的所有结论，都具有不确定性，因为它们只是结论。它们是关于会发生什么事情的猜测。你不可能知道会发生什么，因为你不可能进行最完备的实验。

奇怪的是，旋转陀螺的质量效应是如此之小，你可能会说，“哦，这没什么区别呀。”但是为了得到一项正确的法则，或者至少是为了能够通过不断出现的筛子，就需要进行更多的观察，需要非凡的智慧和想象力，还需要对我们的哲学、我们对空间和时间的理解进行彻底的更新。我指的是相对论。事情往往就是这样，一旦出现些微的效应，就需要对现有概念进行极具革命性的修正。

因此，科学家已习惯于对付存疑和不确定性。所有的科学知识都是不确定的。这种与怀疑和不确定性打交道的经验很重要。我相信它具有非常大的价值，并且能够应用于科学以外的领域。我相信，要解决任何过去一直悬而未决的难题，你必须让通向未知领域的大门敞开。你必须允许出现可能不完全正确的情形。否则，如果你已经心有成见，就很可能解决不了这个问题。

当科学家告诉你他不知道答案，说明他对这个问题还不清楚。当他告诉你他预感到应当如何去着手工作时，表明他对问题的解决还不是很确定。当他可以肯定事情是怎样进行的，并告诉你，“我敢打赌，这么做肯定行”的时候，表明他仍然有一些疑问。而且最重要的是，为了取得进展，我们必须容许这种无知和疑虑。正因为我们心存疑虑，我们才会在新的方向上探求新的设想。科学发展的速度不取决于你取得观察结果的速度，更重要的是看你创建用于检验的新东西的速度。

如果我们不能够或不希望从新的方向看问题，如果我们没有疑问或不承认无知，我们就不会产生任何新的想法。那样的话也就没有什么值得检验了，因为我们知道什么是对的。因此，我们今天称之为科学的东西是一套对确定性程度各不相同的知识的陈述。其中有些知识最不确

定，有些几乎可以肯定，但没有一个是绝对肯定的。科学家对此已经习以为常。我们知道，人都能生活在这个世上并且对很多事情并不知情，二者间并无矛盾。有人会说：“你啥都不知道怎么可能活着？”我不知道他们的意思。我永远是活在很多东西都不知道的状态中。这很容易。你怎么知道我想知道啥。

在科学上允许有这种怀疑的自由是非常重要的，而且我相信在其他领域也是如此。它是斗争的产物。这是为获准怀疑、为容许存在不确定而进行的斗争。我不希望我们忘记这种斗争的重要性，默认事情就这么发展下去而无所作为。作为一个懂得一种可以接受的无知哲学的巨大价值，知道这种哲学有可能带来进步的科学家，我感到有一种责任。我有责任宣扬这种自由的价值，并告诫人们：怀疑不可怕，而应予欢迎，把它当做人类一种新的潜在的可能性来欢迎。如果你知道你还不能确定，你就有机会来改善这种局面。我要为后代争取这种自由。

在科学上，怀疑精神具有明显的价值。在其他领域是不是这样我不敢说，这是个不确定的问题。我期望在下两讲里重点讨论这个问题，我将试图证明，怀疑精神很重要，怀疑不是件可怕的事情，反而具有十分重要的价值。

第2章
价值的不确定性

当我们想到人类似乎具有各种奇妙的潜力，而我们取得的成就与之相比却显得那么渺小，我们都会感到失落。我们一而再，再而三地认为我们可以做得更好。生活在过去各个时代的噩梦里的人们，对未来寄予梦想，我们，作为他们所梦想的未来，虽然在很多方面已经超越了那些梦想，但在很大程度上依然做着同样的梦。今天我们对未来所抱的希望在很大程度上与过去他们对未来所怀的梦想是一样的。人们一度曾认为，人的潜力没得到充分发展是因为每个人都很无知，解决这个问题的出路在教育，如果所有人都受到良好的教育，那么人人都可能成为伏尔泰。但事实表明，学会作假和作恶与学好一样容易。教育是一种强大的力量，但它既可以被用作学好，也可以被用来教人使坏。我曾听人说，国家间的信息交流应当能够增进相互了解，从而成为发展人的潜能的途径。但是通信渠道可以开通也可以关闭。传播的可以是谎言也可以是真理，可以是宣传也可以是真实的、有价值的信息。通信是一种强大的力量，但它同样既可以为善也可以为恶。曾几何时，应用科学被认为至少可以将人从物质困难中解救出来，历史也确实记录了某些好的方面，特别是在医学领域。但另一方面，有些科学家则躲在秘密实验室里小心翼翼地开发某些可怕的病毒。

每个人都厌恶战争。今天，我们的梦想是通过和平手段来解决问题。如果没有军备开支，我们可以做任何我们想做的事情。但和平也是一种可以为善也可以为恶的强大力量。和平怎么为恶？我不知道。但如果有一天我们得到了和平，我们就会看到这种情形。显然，我们将和平视为一种强大的力量，同样，物质力量、通信、教育、诚实和许多梦想

家的理想也都是这样的强大力量。与古人相比，我们今天有更多的力量需要控制。也许我们在这方面做得比大多数前人能做到的要好一些。但比起我们目前取得的好坏不分的成就，我们理应能够取得的似乎还应当多得多。为什么会这样呢？为什么我们不能战胜自己？因为我们发现，即使是最伟大的力量和能力，似乎也没有附带任何明确指出该如何运用它们的说明。譬如，我们积累下的关于物理世界行为的大量知识只是让人确信，这种积累缺少一种内在的价值意义。科学并不直接告诉我们好和坏。

古往今来的各个时代，人们一直试图弄清楚生命的意义。他们意识到，如果能为人类的总体发展，为我们的行动指明某个方向，赋予一定的意义，那么人类将显示出巨大的力量。因此，对于人类一切活动的意义这个问题，曾有过很多很多的答案。但所有这些答案都各不相同，难以调和。一种思想的支持者看到另一种信仰的信徒们在积极行动就会感到恐惧——因为从他们的观点来看，人类所有的潜力都被引向了虚假的、受限的死胡同。事实上，哲学家们正是从历史上出现的这种虚伪信念带来的巨大灾难中认识到人类所具有的神奇潜质和惊人能力。

人类的梦想是要找到一条公开、开放的通道。那么，所有这一切有什么意义呢？对于如何驱除笼罩在存在之上的神秘感，今天我们能说什么呢？纵观人类的一切知识，不仅是古人所了解的那些，而且包括他们不了解而我们今天已经发现的所有知识，我认为我们必须坦率地承认，我们还很无知。但是我认为，承认了这一点，我们可能就已找到了这条开放的通道。

承认我们无知，永远保持“我们不知道应朝哪个方向走”这样一种态度，我们就留有了更改、思考的可能性，留有了对发展方向问题做出新贡献和新发现的可能性，尽管我们还不知道我们想要什么。

回顾历史上最糟糕的那些时期，我们几乎总能发现，这些时期总有

一群对某些东西绝对信仰、十分教条的人。他们对于所信仰的东西是如此严肃认真，以至于坚持认为世界上其余的人都应当认同他们。为了坚持他们宣扬的真理性，他们会做出直接违背自己信仰的事情来。

在上一讲里我已谈到，这里我还想重申的是，我们只有容许无知，容许不确定性，我们才有希望让人类沿着不受限制、不会永远被阻塞的方向上持续前进，而不再复现人类历史上多次发生过的情形。我要说我们不知道什么是生命的意义，什么是正确的道德价值观，我们没有办法选择它们，等等。对于道德价值，对生命的意义等这些问题的讨论，只有追溯到道德体系和意义描述的广大源头，即深入到宗教领域，才能进行。

因此我认为，想要在三次讲座里讲清楚科学思想对其他领域思想的冲击这一主题，就必须对科学与宗教的关系进行坦率、充分的讨论。我不知道为什么我甚至要为这么做找个理由，因此接下来我不会继续作这样的解释了。不过，我还是想从讨论科学与宗教之间的冲突开始。我已经大致描述过科学是指什么，现在我要告诉你我所说的宗教是指什么。宗教这个问题要说清楚非常困难，因为不同的人有不同的理解。但在这里，即我要展开的讨论里，我是指日常的、普通的、去教堂做礼拜的那种宗教，不是宗教的那种优雅的神学，而是指普通民众对宗教信仰的较为传统的理解。

我坚信，科学与宗教之间是存在冲突的，这里宗教基本上是按上面那样的定义所指。为了使讨论变得容易，使事情变得非常明确，而不是变成一种非常困难的神学研究，我将提出一个在我看来时有发生的问题。

比方说，一个来自宗教家庭的年轻人上大学，学的是科学。学习科学的结果，自然不免会对事物产生质疑。因此，他先是开始怀疑，然后开始不信仰他父亲所信奉的上帝。这里的“上帝”，我是指那种人格化的

上帝，那种做礼拜时向之祈祷、与创世有关联的上帝，也许，还是人们祈求道德价值时所面对的那个上帝。这种现象经常发生。这不是一个孤立的或想象的情况。事实上，我相信，尽管我没有直接统计，有超过一半的科学家不信仰他们父辈的上帝或传统意义上的上帝。大多数科学家不信教。为什么？到底发生了什么？通过回答这个问题，我认为我们将能够搞清楚宗教和科学的关系问题。

那这是什么原因呢？这有三种可能。第一，这个年轻人师从的是一位科学家，我已经指出，他们是无神论者，因此他们的罪恶不断地传播给了学生……谢谢（你们的笑声）。如果你也持这个观点，我认为这表明你知道的科学还不如我知道的宗教多。

第二种可能是，因为半瓶子醋最危险了，而这个年轻人刚学了一点点科学就认为他全都知道了。因此人们认为，当他变得更成熟之后，他会较好地理解这些事情。但是我不这么认为。我认为有许多成熟的科学家，或自认为成熟的人——也就是如果你事先不了解他们的宗教信仰，你会认为他们很成熟的那种人——并不信奉上帝。事实上，我认为答案正好相反：他并非知道了一切，而是突然意识到自己并非知道一切。

对这一现象解释的第三种可能是，年轻人也许没能正确理解科学，科学并不能否定上帝的存在，信仰科学和信奉宗教并无矛盾。我同意科学不能否定上帝的存在。我绝对同意。我也同意信仰科学和信奉宗教是并行不悖的。我知道很多科学家都信奉上帝。我的目的并不是要否定什么。很多科学家信奉上帝的方式甚至还非常传统，也许我不确切知道他们是如何信奉上帝的。但他们对上帝的信仰和在科学的行为完全并行不悖。这种一致性做到了，但做起来并不容易。我在这里要讨论的是，为什么达到这种一致性会非常困难，以及值不值得尝试去实现这种一致性。

我认为，当这个年轻人学习科学后，他所面临的困难有两个来源。

首先，他学会了质疑，认为遇事有必要质疑，懂得了质疑的可贵之处。于是，他开始怀疑一切。在这之前，问题可能是“上帝究竟存不存在”，现在问题变成了“我在多大程度能确信上帝的存在？”现在他面临一个新的不同于以往的棘手问题。他必须确定他能确信到什么程度，他处在了两个极端之间：一端是绝对肯定，另一端是绝对否定。他的信仰位于什么位置呢？由此他意识到他的知识只能是不确定条件下的知识，他再也不能绝对确信任何事情了。他必须拿定主意：到底是一半对一半呢还是有97%的把握？听起来这个差别不大，但它非常重要，也非常微妙。当然，一般来说，人们不会一开始就怀疑上帝的存在。通常他会从怀疑信仰的某些细节开始，譬如说是否有来世，耶稣生平的具体问题等。为了使这一问题尽量突出，说得更加直白，我将予以简化，直接提出这样的问题：上帝到底存不存在。

这种自我反省或思考——随你怎么看吧——的结果，往往是要么非常接近于肯定：存在上帝；要么是另一极端：几乎可以肯定“存在上帝”是错误的。

这个学生学习了科学之后还会遇到第二个困难，就是说他会在一定程度上感受到科学与宗教之间的冲突，这是受到两种教育的人必然会遇到的困难。虽然我们可以在神学和高层次哲学层面上论证说这二者间没有冲突，但事实上，来自宗教家庭的这位年轻人在学习科学时还是会与自己、与他的朋友产生争论，这也是一种冲突。

冲突的第二个来源与他学习科学有关，或更谨慎地说，与他学习科学有部分关系。例如，他通过学习知道了宇宙的大小。宇宙之大令人印象非常深刻：我们不过是生活在一个围绕太阳旋转的微小颗粒上。而这个太阳又不过是我们所在的这个星系中数千亿个太阳中的一个，而我们这个星系则又是宇宙中数十亿个星系中的一个。又譬如，他懂得了人与动物之间亲密的生物学关系，懂得了一种生命形式与另一种生命形式之

间的亲密关系，懂得了人不过是这一绵长宏大的进化过程中的后来者。难道其余的都只是为他的诞生而搭起的平台？另外还有原子。我们现存的一切似乎都是由它按不可改变的规律构造的，没有任何东西可以例外。恒星的构造是这样，动物的构造也同样——只是更为复杂，活得似乎很神秘。

思考人类活动之外的宇宙，想象没有人的话它会是个什么样子，是一种伟大的探险。其实宇宙在其漫长历史中的大部分时间里，在绝大多数地方正是这种情形。当他终于有了这种客观视角，物质的神秘性及其至高无上的地位也就得到了充分理解。然后他再用这种客观的眼光回头审视作为物质的人类就会看出，生命只是宇宙极为深奥的神秘的一部分，这是一种非常罕见、非常令人兴奋的体验。最后，当他想到，试图理解宇宙中的人这个原子到底是什么的努力显得那么徒劳，人这个东西——一群充满好奇的原子——反观自身并且惊奇为什么会对事情充满好奇时，他会哑然失笑。最后，这些科学观点走向敬畏和神秘的终点，消失在不确定性的边缘，但它们似乎是如此之深刻，如此令人难忘，以至于使得“所有这一切都是上帝安排好的用来观看人类为善恶争斗的看台”的论调显得不够充分。

有人会告诉我，我刚才所描述的恰是一种宗教体验。好吧，随你怎么称呼都可以。接下来我要说，就算是一种宗教体验，那么这个年轻人的宗教体验使他发现，他所信奉的信仰不足以描述或涵盖这样一种体验。他信奉的上帝不够强大。

或许吧。每个人都可以有不同的意见。然而，假若这位学生得出的结论是个体的祷告确实到达不了上帝那里。我不是要证伪上帝的存在，而只是想让你明白受到两种不同观点教育的人的困难所在。据我所知，我们不可能否定上帝的存在。但不可否认的是，同时接受两种不同的观点是非常困难的。因此，假定这个学生在这方面恰好碰到困难，他得出

的结论就是个人的祈祷上帝不可能听到，那将会发生什么事？于是一种怀疑机制，就是他的疑惑，会转向伦理问题。因为，按他过去受到的教育，他的宗教观已认定，上帝的话就是伦理道德价值的标准。现在，如果上帝也许不存在，那么这种伦理道德价值观念就有可能是错的。但非常有意思的是，人类的这些伦理道德价值观念却几乎完好无损地延续下来。可能某个时期他所信奉的宗教的某些道德观点和伦理立场看来有错，他必须好好思量，但其中许多他都会遵奉不悖。

但是在我看来，我的那些持无神论观点的科学界的同事——不是指所有科学家，我不可能从他们的行为中判断出他们与持有神论观点的同事相比是否具有特别不同之处，因为我自己也身在其中——如道德情感、他们对其他人的理解、他们的人性关怀等，既适用于有宗教信仰者也适用于无神论者。在我看来，伦理道德观点和宇宙运行的理论之间是相互独立的。

科学确实对与宗教有关的许多观念造成了冲击，但我不相信它会非常强烈地影响到人们的道德行为和伦理观念。宗教有许多方面。它回答了各种问题。不过我在此要强调的是如下三个方面。

第一个方面，是它告诉了我们万物是什么，它们来自何处，人是什么，上帝是什么以及上帝有什么特性等。就这里的讨论而言，我想将这些称之为宗教的形而上的方面。

接着宗教告诉我们如何做人。我这里不是指那种在宗教典礼或仪式上的行为规范等，而是指一般意义上做人的道德方式。我们可将它称为宗教的伦理方面。

最后，人是脆弱的。需要具有正确的良知才能确保产生正当的行为。尽管你知道你该怎么做，但你同样清楚地知道不可能随心所欲地做事。宗教强有力的一个方面正是它的灵感作用。宗教激励人行为端正。

不仅如此，它还激发起艺术和人类许多其他方面活动的灵感。

现在，从宗教看来，宗教的这三个方面是非常紧密地相互联系的。首先，事情通常是这样的：上帝的话就是道德价值标准；其次，上帝的话将宗教的道德伦理和形而上的方面联系起来；最后，上帝的话会激发起灵感，因为如果你是在为上帝服务，服从上帝的旨意，你就会以某种方式通达宇宙，你的行为就会在更大的世界上显示出其意义，而这正是灵感的方面。因此，这三个方面是高度整体性的，是相互关联的。困难的是，科学偶尔会与前两个方面，即与宗教伦理与形而上学方面相冲突。

历史上的一次大斗争发生在这样一种时刻：人们发现，地球不仅绕自身轴旋转，而且还绕太阳旋转。按当时宗教的理解，这是不该如此的。经过激烈的斗争，结果宗教从地球是宇宙的中心这一立场上后撤。但这种后撤最终并没有造成宗教的道德观的改变。另一次大冲突是人们发现人可能是从动物进化来的。大多数宗教都已经从其不正确的形而上的立场上一而再、再而三地后撤。但结果却是其道德观并没有明显变化。你看到地球围绕太阳转，是的，但那又怎么样？它能告诉我们“有人打我一边脸时，把另一边给人家打”是好还是不好？[2]这种与形而上方面联系在一起的冲突具有双重困难，因为它与很多事实相冲突。不仅是事实，而且在精神上也相冲突。譬如对于太阳是否绕地球转这个问题，宗教与科学之间不仅在确认这一事实方面存在分歧，而且在如何对待这一事实的精神和态度方面也大相径庭。要了解大自然，我们必须接受某种不确定性，但这种认识却很难与信仰上的确定感相联系，这种确定感通常与深深的宗教信仰息息相关。我不相信科学家能像笃信宗教的人士那样对他的信仰是那般的肯定，或许可以做到，我不知道。我认为这是困难的。但是不管怎么说，宗教的形而上方面似乎与其伦理价值观联系不大，同时，道德价值似乎是以某种方式独立于科学领域之外的。所有这些冲突似乎并没有影响到伦理价值方面。

我只是说，伦理价值位于科学领域之外。我要辩驳的是很多人并不这么认为。他们认为，我们应该以科学的方式得到一些关于道德价值的结论。

对于这一点我有几个理由。你看，如果你没有一个好的理由，你就必须准备好几个理由。这里我有四个理由认为，道德价值位于科学领域之外。首先，过去有过那么多冲突。形而上学立场的变化实际上并没有对道德观点产生明显影响。因此这一点暗示我们二者间必定是相互独立的。

第二，我已经指出，至少我认为有这么一些好人，他实践着基督教伦理但却并不信奉基督的神性。顺便说一句，前面我忘了交代，我这里所说的宗教是一种狭义上的所指。我知道这里有很多人所信奉的宗教并不属于西方宗教。但宗教的主题是如此广泛，因此你最好拿个具体的例子来考虑，你只需将我说的移植到你自己所属的宗教上，看看是不是这么回事，不论你是一个阿拉伯人还是一个佛教徒，或是属于别的什么教派。

第三个理由是，根据我所收集的科学证据，似乎没有任何地方对任何事情表示过圣经里的黄金法则是好还是不好。因此，关于道德价值是否独立于科学的问题，我没有任何建立在科学研究基础上的证据。

最后，我想做些哲学上的辩护——尽管这个我不是很在行，但我还是想从哲学上进行一些论辩，从理论上解释一下为什么我认为科学和道德问题是彼此独立的。人类共同面临的问题，一个大问题，始终是“我该这么做吗？”这是一个有关如何行动的问题。“我该做什么？我该这么做吗？”我们怎么来回答这样的问题呢？我们可以将它分为两部分。我们可以问，“如果我这么做，会发生什么事？”这个问题并没有告诉我们我是否应该这么做。我们还有另一部分，即“那么，我希望这事发生吗？”换句话说，第一个问题——“如果我这么做，会发生什么

事？”——至少是属于可进行科学调查来回答的问题，事实上，它就是一个典型的科学问题。这并不意味着我们知道会发生什么，远非如此。我们永远不知道接下来会发生什么事情。科学是非常初步的。但是，至少是在科学领域，我们有办法来处理它。这个办法就是“试一下，看看有什么结果”——我们谈到过这一点——并积累起有关的信息，等等。所以“如果我这么做，会发生什么事？”这种问题是典型的科学问题。但“我希望这事发生吗？”这样的问题则并非如此。譬如你说，如果我这样做，我会看到大家都被杀，当然我不希望出现这种情况。但是，你怎么知道你不希望有人被杀呢？你看，到最后你必须拿出一些最终的判断。

你可以采取不同的例子。例如，你可以说，“如果我遵循这种经济政策，我就会看到经济萧条，当然，我不希望出现萧条。”等一下，你看到了吧，仅仅知道会出现萧条并没有告诉你你希不希望它出现。这之后你必须判断，你是否想从中获得某种行使权力的快感，整个国家朝着这个方向发展的重要性是否抵得上给人民带来的苦难。或者，是否给一些人带来痛苦能够换回另一些人的痛苦的解脱。因此，沿着这条“什么是可宝贵的，人是否有价值，生命是否宝贵”等问题追问下去，你必然需要在某个地方形成最终的判断。你可以随着事情的进展将这种设问不断深入下去，但最终你必须决定“是啊，我要的就是这个”或“不，我不要这个。”这种决断具有不同的性质。我看不出你如何能够仅通过知道会发生什么就判断出它是不是你最终想要的结果。因此我相信，用科学技术来决定道德问题是行不通的，这是两个相互独立的事情。

现在，我想谈谈宗教的第三个方面，即灵感方面。这个问题也是我想问问大家的核心问题，因为我没有答案。今天，在任何宗教里，灵感的来源、力量和给人慰藉的源泉均与形而上方面紧密相联。也就是说，灵感来自于为上帝工作，服从他的意志，等等。但是，以这种方式表达的情感，认为你正在从事正当工作的强烈的情绪体验，会因对上帝的存

在表示哪怕一丁点怀疑而变弱。因此，当对上帝的信仰变得不确定时，这种获得灵感的特定方法就失效了。我不知道如何回答这个问题：既能够保持宗教作为大多数人的力量和勇气的源泉这一真正价值，同时又不必对宗教的形而上学体系保持绝对信仰。你可能认为，我们有可能为宗教创制一套形而上学体系，它能够以科学再也不会发现自身与宗教信仰相抵牾这样一种方式来陈述事情。但我不认为存在这种可能。我们不可能一方面在科学上采取冒险精神，向未知领域四处扩张；一方面却对问题事先给出答案，而且无论做什么，都不预料到某些答案早晚会被证明是错误的。因此，如果你要在形而上的方面保持绝对信仰，我认为不产生冲突是不可能的。同时我也不明白如何来保持宗教在灵感方面的真正价值，如果我们对它有些怀疑的话。这是一个很严肃的问题。

西方文明，在我看来，是建立在两大遗产基础之上的。一个是科学的冒险精神——一种进入未知领域的冒险，这一未知领域必须是为了探索而被认可的那种具有未知本质的未知领域，它要求宇宙中那些无法解答的谜题继续无法得到解答，它需要一种这一切都不确定的态度。总之一句话：智力的谦卑。

另一个伟大遗产是基督教伦理——建立在爱的基础上的行为，四海之内皆兄弟，个人的价值，精神的谦卑。这两大遗产从逻辑上讲是完全一致的。但逻辑并非一切。任何概念的贯彻需要人内心遵从一种观念。如果人们准备回归到宗教，那么他们准备回归的是什么宗教？现代教会能让怀疑上帝甚至不信上帝的人感到满意吗？现代教会能使这种怀疑的价值得到肯定和鼓励吗？到目前为止，我们不是一直都在通过这些逻辑上一致的各种文化遗产之间的相互攻击以维持这些貌似冲突的文化遗产于不坠，并汲取到力量和慰藉吗？这是不可避免之路吗？我们怎样才能找到支撑西方这两大文明支柱的灵感，使得它们能够充满活力地并肩而立，互不戒惧？这个，我不知道。但我认为，关于科学和宗教的关系的认识，我也只能做到这样了。宗教不仅过去是而且始终是道德戒律的源

泉，同时也是激励人心遵循这一戒律的力量源泉。

今天我们看到，国与国之间的冲突一如既往，特别是苏俄[3]和美国这两大阵营之间的冲突尤为严重。我一直认为我们并不清楚双方的道德分歧点。不同的人对正确和错误有着不同的看法。如果我们对什么是正确，什么是错误的认识都不能确定，又如何在这场冲突中选择立场？冲突在哪里？对于资本主义经济体系和政府控制的经济体系之间的对立，哪一方是正确的就是那么明确和绝对重要吗？我们必须承认其中有着很大的不确定性。我们或许可以相当肯定地说，资本主义要比政府控制好，但我们不也有自己的政府管制？这部分占到52%，这就是企业所得税控制。

宗教和无神论之间存在着争论。前者通常由我们国家代表，后者假定由苏俄代表。两种观点——它们仅仅是两种视角而已——没法定夺孰好孰坏。这里有人的价值观或者说国家的价值观的问题，即如何处理危害国家罪的问题——不同的观点——我们只能是不确定的。我们是否有真正的冲突？有的可能只是专制政府表现出对民主混乱的某种进步以及民主混乱表现出的对专制政府的某种程度的进步。表面上不确定性意味着没有冲突。这多好。但我不相信这一点。我认为有冲突是肯定的。我认为苏俄就代表着这样一种危险，譬如说，认为解决人类问题的途径已经明了，人类的所有努力都应该服务于这个国家，而这就意味着不再有创新。人类就像部机器一样，不再容许发展其潜能，不再容许表现出惊奇，不再容许多元化，不再容许对困难的问题采取新的解决办法，不再容许新观点。

美国政府是在没人懂得如何建立政府或如何治理国家的观念下发展起来的。其结果是创造出一种制度，用来在大家都不知道怎么办时治理国家。这种制度安排是这样一种体制，就像我们现在的制度，它容许发展和尝试新的设想，不好就扔掉。美国宪法的起草者们懂得怀疑的价

值。例如，在他们那个年代，科学已经得到充分发展，显示出存在各种不确定性的可能性及其潜在价值，显示出对各种可能性不设限定的价值。事实上，你不能确定一件事意味着不知哪一天它就有另外一种可能。容许存在各种可能性是一种机会。怀疑和讨论是进步不可或缺的条件。在这一点上，美国式的国家治理是全新的，是现代化的，是科学的，也是充满变数的。参议员们为筹建本州的大坝拉选票，让所有人感到兴奋的讨论和游说取代了让少数人代表自己的机会等。美国的政府管理不是很好，但它可能是当今不同于英国政府的最伟大的政府，是最令人满意的、最现代化的政府，虽然管理得不是很好。

苏俄是一个落后的国家。当然，它在技术上是先进的。我已经描述过我所谓的科学与技术之间的不同。不幸的是，人们并没有明显感觉到工程和技术的发展与不容许出现新观点之间存在什么不协调。我们看到，至少是在希特勒时代，尽管科学没有得到发展，但却制造出了火箭。苏俄也可以制造火箭。尽管知道这一点让人难过，但这却是事实：技术的发展，即科学的应用，可以在没有自由的条件下进行。我们之所以说苏俄落后，是因为它还不懂得政府的权力需要限制。英国人的伟大发现——他们不是唯一想到这一点的人，但在近代史上，他们为此进行过长期斗争——是有可能对政府权力设限。在苏俄是不存在对思想进行批评的自由的。你会说，“不对，他们也讨论反斯大林主义。”但那只是某种确定的形式，只在一定程度上存在。我们应该利用这个优势。我们为什么不也来讨论反斯大林主义呢？我们为什么不挑明同这位先生的所有纠葛呢？我们为什么不指出一个容忍这样的事情在体制内滋生的政府会带来什么样的危险性呢？我们为什么不指出，苏俄国内受到抨击的斯大林主义其实与苏俄国内目前盛行的做法之间真有异曲同工之妙？好了，好了……

现在，我很激动，看……这些不过是情绪化的表现。我不该这么做，我们应该做得更加科学。除非我能让你们相信，这是一场完全理性

的、不带任何偏见的科学论战，否则我是说服不了你们的。

我对这些国家有过一些体验。我曾访问过波兰，发现有些事情挺有趣。自然，波兰人民是热爱自由的，如今他们正处于苏俄人的控制之下，没有出版自由。但在当时，大约一年前我在那儿的时候，他们可以想说什么就说什么，就是不能发表。因此，我们便在公共场所就各种问题的方方面面进行非常活跃的讨论。顺便指出，在波兰，最令人难忘的事情是，他们受到德国蹂躏的创痛是如此之深、如此可怕和恐惧，以至于永远不可能忘记。因此，他们对所有外交事务的态度都带有对德国复兴的恐惧。我在那里的时候曾想到，这些可怕的罪行其实是部分自由国家所实施的政策的结果，这些国家曾一再容忍这种事情在波兰发展。因此他们接受了苏俄。他们向我解释，你看，苏俄人完全控制住了东德。纳粹没有办法在东德生存。而且毫无疑问，苏俄可以控制他们。因此，至少有该缓冲区。令我惊讶的是，他们并没有意识到，一个国家完全可以在不行使霸权、不驻扎军队的条件下保护另一个国家，并保证它不受侵略。

他们对我说的另一件事是，经常有人把我拉到一边，说我们惊讶地发现，如果波兰能够摆脱苏俄人，组成自己的政府，获得自由，他们迟早还是会变成现在这样。我说：“你是什么意思？我觉得很奇怪。你的意思是你没有言论自由？”“哦不，我们会拥有所有的自由。我们热爱自由，但我们也会有国有企业等。我们信奉社会主义思想。”我很惊讶，因为我不明白这样的问题。

好了……

每个人都很清楚，苏俄并不自由，这在科学上的后果是很明显的。最好的例子之一是李森科，他有一套遗传学理论，认为获得性特征可以遗传给后代。这可能是正确的。但绝大多数遗传影响无疑不是这样，它们是由种质传递的。确有一些实例，一些人们已知的例子表明，某种特

性可以通过所谓细胞质遗传直接传递给下一代。但问题主要是，大部分遗传行为都不同于李森科认为的那样。因此他败坏了苏俄。伟大的孟德尔，就是发现了遗传规律、使遗传学走上科学道路的那位，已经谢世。但遗传学只在西方国家得到了继承，因为在苏俄不允许人们从事这类分析。他们不断地和我们进行讨论和争辩。结果很有趣。这件事中止了生物科学的发展，而在西方，生物学则是当今最活跃、最令人兴奋，也是发展最为迅速的科学。但在苏俄，则一无建树。与此同时，从经济的角度来看，你会认为这样的事简直就是不可能的。但无论怎么说，事实是由于不正确的遗传理论，苏俄的农业生物学落后了。他们没能正确发展出杂交玉米技术，也不知道如何培育品种更优良的马铃薯。过去他们是知道这些的。在李森科理论出笼之前，苏俄的马铃薯是世界上最大的。但今天他们再也没有这种优势了。他们只知道与西方辩解。

在物理学界，一度也有过这样的麻烦。最近，物理学家有了很大的自由，但还不是百分之百的自由。不同思想流派之间一直争论不休。一次，他们出席在波兰举行的一个会议，由波兰国际旅行社安排行程。自然，由于房间数量有限，他们只好安排几名苏俄人同住一室，由此铸成大错——这些人到了后就大吵："17年了我从没跟这个人交谈过，我不跟他同住一个房间。"

物理学也有两个流派。有好人也有坏人，而且泾渭分明，非常有趣。苏俄有过伟大的物理学家，但在西方物理学发展得更为迅猛，虽然一度苏俄的物理学曾显得欣欣向荣，但终究没能形成气候。

但这并不意味着技术没有发展，或者说它在某些方面落后了。我要表明的是，在这种国家里，创新思想难以得到发展。

你们想必对现代艺术的最近动态有所了解。我在波兰时，偏僻街道角落也有现代艺术画作的展示。在苏俄，现代艺术才刚刚开始。我不知道现代艺术有什么价值。我想你怎么理解都可以。但赫鲁晓夫先生看了

这样一个地方，便认定，这幅画看起来好像是用公驴尾巴画的。我的评论是，他应该知道现代艺术的价值。

几千年过去了，未来前程远大，我们有各种机会，当然也有各种危险。人类要不想止步不前就不能停止思想。人类已经被阻滞了很长一段时间。我们不能容忍这一点。我希望未来的世代都能够享有充分的自由——怀疑的自由、发展的自由、继续冒险去发现做事新方法的自由、解决问题的自由。

为什么我们抓住这个问题不放？因为我们才刚刚开始。我们有充足的时间来解决问题。我们唯一会犯的错误就是，在人类尚不成熟的早年，我们就认为我们知道答案。答案是现成的，没人能想到还有什么东西需要考虑。我们将变得封闭，将只局限于人类今天的想象。

我们不是那么聪明。我们很笨拙，很无知。我们必须维持一个开放的渠道。我相信受限的政府，我认为政府在很多方面都应受到限制。我现在所强调的只是知识。我不想同时谈论一切事情。让我们先考虑一小部分，考虑知识这件事。

没有任何政府有权决定科学原理的真理性，政府也无权以任何方式对所调查问题的性质开出药方。政府无权决定艺术创作的审美价值，也不能为文学或艺术的表现形式设限。它不应宣称各种经济、历史、宗教或哲学学说的有效性。它的责任就是确保公民的自由，让公民敢于进一步冒险并促进人类的发展。谢谢你们。

第3章 这个不科学的年代

当我接到邀请来做约翰·丹茨讲座，而且听说会安排我做三次讲座时，我很高兴。因为我对这些问题考虑了很久，很希望有机会通过不是一次，而是三次演讲来慢慢地、仔细地梳理我的这些想法。我发现在前两讲中我已经逐步细致地完成了对这些想法的梳理。

有条理的想法已经讲完了，但对这个世界我还有大量不成熟的想法，这些想法都还未能梳理成明确的、有条理的容易理解的形式。因此，既然我已经答应要做三个讲座，那么我唯一可以做的就是将这些未加梳理的不成熟的感觉和盘托出。

或许有一天，当我找到了所有这一切背后的真正的深层次原因，我就能够将它们组织成一个好懂的演讲而不是像现在这样。此外，如果你因为我是一名科学家，而且根据发的小册子，知道我赢得过一些奖项等，从而开始相信我以前说过的一些事情是正确的，而不是依据你对这些思想本身的看法来直接判断它们的话——换句话说，你对权威怀有某种情结——那么今晚我就要让你摆脱这一点。我将通过这场演讲来表明，像我这样的一个人会给出什么样的荒谬结论和罕见的陈述。因此我希望能够铲除你们心中已有的任何权威形象。

你看，周六的夜晚应该娱乐娱乐，就是说……我想我现在找到恰当的感觉了，我们继续说下去。给讲座安个没人能信的题目总会产生好的效果。这样的演讲要么很特别，要么与你预料的正相反。而这正是我把这一讲的题目定为“这个不科学的年代”的原因。当然，如果你对科学的

理解就是技术应用成果，那么毫无疑问，这是一个科学的年代。我们今天毫无疑问地拥有各种科学应用成果，它们既造成种种麻烦，也带来种种好处。因此在这个意义上说，它肯定是一个科学的年代。如果你将科学年代理解为科学迅猛发展和全速推进的年代，那这肯定是一个科学的年代。

在过去两百年里，科学的发展速度一直在不断加快，我们现在处于发展速度的高峰期。特别是在生物科学领域，我们正处在取得最惊人发现的当口。至于会是什么新发现，我也说不上来。自然，这令人兴奋，就像你翻开一块又一块石头后不断有新的发现那样令人兴奋。这种状态已经持续了数百年，而且还在不断地高涨。从这个意义上说，这肯定是科学的年代。科学家称其为英雄时代，但其他人体会不到这一点。或许将来某个时刻，当历史回过头来看看我们这个时代，它会发现，这是一个最跌宕起伏充满戏剧性的时代，我们从对世界知之不多转变为知之甚多。但是，如果你觉得科学时代就是在艺术、文学、人们对事物的态度和理解等方面科学发挥着巨大影响力的话，我不认为这是一个科学的年代。我们不妨回头看看，譬如说，以古希腊人的英雄时代为例，那时有歌颂战争英雄的诗篇。再譬如中世纪宗教主导时期，艺术创作与宗教紧密相连，人们对生命的态度也与宗教观点紧密相连。那的确是一个宗教时代。从这个角度来看，当今还谈不上是一个科学时代。

其实，存在不科学的东西并不让我感到伤心。这个词没用错。我的意思是，我不担心存在不科学的事情。有些事不科学并非是坏事，也没啥了不起，不过是不科学而已。当然，所谓科学我是指那些可以试错的事情而言。例如，若当今的年轻人反复地呼喊说看到紫色的食人怪物的事，这显然荒诞不经。但如果我们还属于旧时相信有扁平脚怪物的一族的话，这就没啥了不起了。母亲对儿子唱起“来，约瑟芬，在我的飞行机器”听起来如现代“我想要带你乘慢船到中国”。因此，在生活中，在欢乐中，在情感世界里，在人们嬉戏追逐活动中，以及在文学等领域，

不需要讲求科学，也没理由讲求科学。我们需要的是放松和享受生活。这不是批评的时候，批评也不是问题的关键。

但是，如果你停下来想想，你会发现有很多琐碎的事情谈不上科学，也没必要扯上科学。举例来说，前排还有很多空位，但有些人就是愿意（站在后面）。

有一次我在跟一个班的学生交谈时，有同学问我一个问题，大概是，“你有没有这样的经验，就是你在从事科学工作时，感到这些信息对其他工作可能也有用？”

（顺便说一句，我在最后会说到，当今世界在多大程度上是明智的、理性的和科学的。这是很大的一块。所以，我先说不好的一面，这更有趣，然后我们再在最后予以弱化。我觉得在谈论我认为不科学的那些事情的时候，这是一个很好的组织演讲内容的方法。）

因此，我想先来谈谈判断一个想法时的一些小技巧。我们的优势在于最终可以将这个想法付诸科学实验，这在其他领域或许就做不到。但尽管如此，这里判断事物的某些方法和经验无疑可以在其他领域发挥作用。所以，我从举的几个例子开始谈起。

第一个要谈的是，一个人是否清楚他在说什么，他说的究竟有没有根据。我的诀窍非常简单：如果你问他一些需要动脑子想一想的问题——也就是那些尖锐、有趣、坦诚、直率、与问题直接相关且不带陷阱的问题——然后看他是否很快会卡壳。这就像小孩子问那些天真的问题。如果你问一个幼稚但相关的问题，那么这个人几乎不可能立即做出回答，如果他是个诚实的人的话。明白这一点很重要。我可以举个例子来说明这个世界不科学的一面，如果我们做得科学一点的话，这方面原本可以做得很好。这个例子与政治有关。假设两位政治家竞选总统，其中一位经过一个农场，被问道：“对于农业问题你有什么打算？”他马上

给出答案——言辞卓卓，侃侃而谈。现在轮到另一位候选人："对于农业问题你有什么打算？""嗯，这我不知道。我当过将军，但对农业可以说一无所知。在我看来，农业问题想必是个非常困难的问题，因为人们已经为此奋斗了十二年，不，十五年，甚至二十年，人们总认为他们知道如何解决农业问题。由此可见，这一定是个很难解决的问题。所以我打算这样来解决农业问题，就是组织起一批懂农业的人，分析此前我们为解决这个问题而取得的所有经验，花上一定时间，找出合理的解决方案。但现在我不能事先告诉你结论是什么，我只能给你一些我会尝试使用的原则——决不让每户农民的生活变得困难，如果遇到具体问题，我们一定想出具体办法来照顾他们……"

如今，在这个国家里，这样的人永远不会取得成功，我想。当然也从没人这么试过。在大众的心目中，政治家必须有答案，而且能给出答案的一定比给不出答案的更值得期待，尽管在大多数情况下，实际情况往往恰恰相反。由此带来的结果当然是政治家必须给出答案，而政治承诺从来不会兑现。这是一个无情的事实，不存在兑现的可能——结果是没有人相信竞选承诺，人们普遍鄙视政治，对尝试解决问题的人普遍缺乏尊重，等等。这都是（也许——这里只是简单的分析）从一开始就注定的结果。也许一切都源于这样一个事实：公众的心态就是要寻找答案而不是寻找一个设法给出答案的人。

现在我们来看看科学的另一个方面——对每个一般性概念，我只给出一两个例子来说明——就是如何处理不确定性。关于不确定性的概念，我们可以举出一大堆笑话。我想提醒你，你可以确信很多事情，即使你不是十分有把握，你大可不必凡事都小心求证后再行实施，事实上也完全做不到不偏不倚。有人对我说："喂，你都不清楚还怎么教孩子分辨什么是正确，什么是错误的？"那是因为我有把握肯定何谓对错。我不是绝对肯定，有些经验可能会改变我的想法。但我知道我教给他们的是什么。当然，孩子也不会完全按照你教给他的来学习。

我想谈点技术性较强的想法，以后你会看到，这是我们在处理不确定性的问题时必须搞懂的。一件事情是如何从几乎肯定是假的过渡到几乎肯定是真的呢？在这里经验是怎样发生变化的呢？你如何依据经验来处理这种确定性的变化呢？技术上确实比较复杂，但我会给出一个相当简单的理想化的例子。

我们假定有两种理论来判断某事的发生，姑且称为“理论A”和“理论B”。于是问题变得复杂了。在你进行观察之前，出于这样或那样的理由，譬如你的过去经验、其他人的观察结果或直觉等，总之你对理论A的确信程度要高于理论B。现在假设要判断的是你观察一项测试的结果。根据理论A，应该什么变化都没有。但根据理论B，结果应该呈蓝色。而你的观察结果是变得有点绿。于是你检视理论A，说“这根本不可能呀。”再转向理论B，你有点明白了，“嗯，应该呈蓝色，但带有绿色也不是不可能的。”于是，观察的结果是理论A的可信度下降，理论B的可信度上升。如果你继续进行更多的测试，那么理论B的可信度就会越来越高。顺便说一句，这里说的更多的测试不是简单的重复测试。无论你做多少次简单的重复测试，绿色的结果都不会给你带来确定性的提高。但如果你发现，鉴别理论A和理论B的很多其他方面的测试都反映出二者的不同，那么通过这些结果的积累，理论B的可信度就大大增加了。

举个例子。假设我在拉斯维加斯遇到一个相术家，他能够洞悉对方的心思。或者说，他自称不是相术家，但是具有心灵传动的能力，就是说他可以纯粹通过思维力量来影响事物的行为。这家伙走过来对我说：“我来做给你看。我们站到轮盘赌那边去，我会事先告诉你每次开的是红的还是黑的。”

在这之前我认为，譬如说，你选什么号码没任何区别。根据这么多年从事自然科学和物理学研究的经验，我不相信有什么心动术。试想，

如果我相信那个人是由原子制成的，如果我知道原子间相互作用的一切——绝大多数——规律，那么我是看不出心灵有什么办法能直接影响到轮盘上的小球的行为。因此，从其他经验和一般知识出发，我强烈反对心灵相术。它们成功的概率不会超过百万分之一。

现在我们开始。相术家说轮盘这次会开黑色。开出果然是黑色的。相术家说这次将是红色。结果确实是红色。你现在相不相信相术了？不信，这只是碰巧了。那就继续。相术家说这次是黑色的。结果是黑色的；相术家说这次是红色的。一开，确实是红色。开始冒汗！我要琢磨琢磨，学到点东西了。接着开盘下去，假设我们开了10次。而连续10次都猜对也不是不可能，只是概率只有千分之一。因此，现在我可以断定，这个相术家真具有这种能力的概率是千分之一，而此前只有百万分之一。但如果我再来10次，他还是全对，你看，他是能够让我相信的，尽管不是百分之百。但就这点不确定性就足以使我们想到会不会还有其他原因。我们总可以找到一种替代理论来解释，我本该在前面有所提及这一点。譬如当我们走到轮盘桌前，我在心里就可能会想到，这个所谓的相术家与赌场之间存在着串通的可能性。这是可能的。起初这家伙看起来并不像与火烈鸟俱乐部有过什么勾结，因此我怀疑他作弊的可能性为百分之一。但之后，他连续10次成功，而我对心灵感应的成见又是如此严重，因此我得出结论：这里一定有勾结，可能性上升到10比1。我的意思是说，是勾结而不是意外使可能性变为10比1，而不存在勾结的可能性则仅为万分之一。对于我这么有成见，又声称他有勾结，他该怎么证明他的相术确实有效？有办法，我们可以换一家俱乐部再做其他测试。

我们可以做其他测试。我可以买来骰子，单独开个房间进行测试。我们可以持续不断地开盘来摆脱所有其他可能的解释。但他在轮盘前就是站到永远也无济于事。他可以总是猜对，但我的结论就是这里一定有串通。怎么办？

他仍然有机会通过做其他事情来证明他的相术是真的。譬如我们去另一家赌场，他能猜对；那就再换另一家，还是能猜对；我买来骰子，仍屡试不爽；我带他回家，自己做个轮盘，结果还是一样。我该怎么下结论？我得承认，他的相术确实有效。可能还真是那么回事，当然也不是完全确定，只是确信的概率大增。有了这些经验之后，我有一定的把握说他的相术是真的。但也可能随着新经验的增长，我或许会发现，有办法通过别人很难注意到的嘴角吹气来影响结果，等等。如果我真的有此发现，那么这个确信的概率就又要大打折扣了，因此不确定性是永远存在的。但在很长的一段时间里，通过一系列测试，我们有可能得出确实存在心灵感应的结论。如果是这样，我会非常兴奋，因为以前我确实没想到有这等事情。我学到了以前不知道的东西，而且作为一个物理学家，我会将它作为一种自然现象来研究。譬如看看是否与他到开盘用的球之间的距离有关？如果在这之间插若干块玻璃或纸板或其他材料会怎么样？这种方法对所有这些事情一直都是很有效的。磁是什么，电是什么，就是这么搞清楚的。什么是心灵感应当然也能够通过这类充分的实验来分析清楚。

无论如何，我们总可以找到如何对付不确定性、如何科学地看问题的例子。即使你对相术心存一百个不信，也不意味着你就能够永远不信会有真正的相术家。能够使你永远不信会有真正的相术家的唯一途径只能是下面二者之一：要么是你只能做有限次数的实验，他不让你无休止地做下去；要么是你打一开始就心存无限偏见，认为它就是绝对不可能的。

现在我们来谈检验真理的另一个方面。可以这么说，这种情形不仅在科学上有效，而且某种程度上说在其他领域也有效。那就是，如果事情是真的，确实如此，那么如果你继续观察并且改进观察效果，事情就会暴露得更为明显，而不是更不明显。也就是说，如果那里真有东西，而你因为隔着有雾的玻璃看不清，那你擦干净玻璃再看，就会看得更清

晰而不是更模糊。

举一个例子。我印象中是弗吉尼亚州的一个什么地方的一名教授，曾在多年里就心灵感应问题做了大量实验，心灵感应与意念控物属于同类现象。在他的早期实验里，用的是一套印有不同设计图案的牌（你可能熟悉这些，当时这种牌哪儿都有卖的，人们常玩），实验内容是，在其他人能够看到牌并想着这张牌的情形下你来猜测他看到的牌的图案是圆形还是三角形还是其他什么。你可以坐着，但看不到牌，只有他能看到牌并想着这张牌，你只能猜他想的是什么。在研究开始之初，他发现这种感应非常显著。有人能猜对10至15张牌，而平均来看猜对的应只有5张。更有甚者，有人居然能够接近百分之百地猜对所有牌。真是优异的相术家。

不少人就此提出了批评。例如，人们指出他没将所有没有奏效的样本统计在内。他只取那些为数不多的奏效的样本，然后就不再做统计了。此外还有大量的明显线索表明，看图者和猜图者之间存在着有意无意的信号传递。

人们对采用的技术和统计方法进行了各种批评。逼得实验技术有了改进。结果是，虽然理论上猜对的平均值应为5张牌，但大量实验结果的均值却是6.5张，但再也没出现猜对10张、15张甚至25张的事情。因此，这一现象说明第一轮实验是不正确的。第二轮实验证明第一轮实验中观察到的现象是不存在的。但现在均值为6.5而不是理论上的5这一事实却为存在心灵感应带来了一种新的可能性，只是强度水平要低得多。这是一个不同的概念，因为，如果此前的事情是真的，那么在改进了实验方法后，这种现象就应继续存在，也就是说，仍能猜对15张牌。为什么会降到6.5张了呢？答案只能是技术改进了。现在的问题是，6.5仍然要比理论上的统计平均略高一点，怎么解释？这时人们的非难会变得更为细致，他们注意到其他一些不起眼的效应，这些都可能影响到结果。

根据该实验教授的说法，在测试过程中，人会感到疲倦。有证据显示，这时受试者猜对的概率平均而言会略有降低。但如果你剔除掉那些猜中率较低的个案，那么统计规律就不准了，统计均值变得略高于5，等等。因此，如果该受试者确实是疲倦了，那么最后两三组数据就应剔除掉。事情就这样不断地改进。结果显示心理感应效应仍然存在，但现在均值已降到5.1，因此，所有的实验表明6.5也是虚假的。现在问题是5会怎样……我们可以永远这么追问下去，但关键是，实验总是有误差的，这些误差的来源很微妙，不可能穷尽。但我不相信这一实验研究证明了存在心灵感应的原因是，随着技术的改进，这种效应不是变强而是变弱。总之，每一次后续实验都驳倒了前面实验的所有结果。如果记住这一点，那么你就领悟到了事情的原委了。

当然，人们一直对心灵感应之类的事情抱有很深的成见，因为它们源自于19世纪的各种招魂术、骗术等勾当。成见使得要证明一件事情变得更难，但是如果事情真的存在，那么它迟早总是会显露出来。

令人感兴趣的一个例子是催眠现象。人们接受确实存在催眠术这一事实曾经历了相当长的时间。催眠术的使用始于梅斯梅尔先生，他让患有歇斯底里病症的病人坐在一个连着很多管子的浴缸边，病人扶着管子，慢慢就会平复下来。这一现象里就有部分是属于催眠现象，只是这之前人们从没有认识到。从这个开端你可以想象要让人们对足够充分的实验给予足够的重视是多么艰难。幸运的是，催眠现象已经被提炼出来并得到无可置疑的证明，尽管它的开端是如此怪异。因此，使人们抱有成见的起因不是事情有一个怪异的开始，而是他们打一开始就有偏见。但经过调查之后，你是会改变态度的。

另一个原则是，我们所描述的效应必须具有一定程度的恒常性或某种不变性，就是说，如果一种现象很难用实验来观察，但如果它可以从许多方面来看出，那么它必定在某些方面是大致相同的。

我们以遇到飞碟为例。描述这一事件的困难在于，几乎每个看到过飞碟的人看到的都是不同的东西，除非他们在此之前被告知他们有可能看到的是什么。因此，在飞碟观测的历史中，所谓飞碟从橙色光球、地板弹起的蓝色球状物、消失的灰雾、游丝般流入空气的热蒸汽、罐头盒，到具有类似人形的古怪形状的短粗物体等，应有尽有，不一而足。

如果你对大自然的复杂性和地球上生命的进化有一点鉴赏力，你就能理解生命具有极其繁多的各种可能形式。有人说生命离不开空气，但水下不乏生命形态。事实上，生命就始于大海。你能够四处走动并有神经系统。植物则没有神经。对生命的多样性只要想上几分钟，你就会明白，所谓飞碟不可能像人们形容的那样。非常不可能的。飞碟根本不可能这么巧正好在这个特定的时代无声无息地到来。它为什么不早点来呢？我们刚刚懂点科学，知道了可以从一个地方旅行到另一个地方，飞碟就来了。

有许多性质十分可疑的论据认为，飞碟来自金星——事实上，这种看法相当可疑。这么多疑问意味着需要做很多精确实验才能——加以验证，但观察到的现象的各种特征之间缺乏一致性和恒常性则意味着它很可能根本就不存在。除非问题暴露得较为清楚，否则就不值得去关注。

我曾经与很多人争论过飞碟的事情。（顺便指出，我必须解释的是，我是一个科学家并不意味着我不与普通人接触。我知道他们的喜好。我喜欢去拉斯维加斯，也喜欢和漂亮女孩交谈，也喜欢打赌等。我的生活同样有声有色，所以我了解普通百姓。）譬如你知道，我就在海滩上与人们争论过飞碟。我感兴趣的是：他们老是争辩说这是可能的。这么说没错，是可能的。但他们不明白，问题不在于证明是否存在这种可能性，而在于是不是将要发生。在于它是否就要出现，而不是它是否可能出现。

这就引出了我对各种概念的第四种态度，就是说，这个问题不是那

种是否存在可能性的问题。那不是问题。问题是出现的可能会是什么，发生的到底是什么。你一次又一次地证明不能否定这有可能是飞碟，那没用。我们必须提前猜到我们是否有必要担心火星人入侵。我们必须作出判断，它到底是不是一个正在飞行的飞碟，这种想法是不是合理，到底有多大可能。这些判断我们通常更多的是基于经验，而不是只看它有没有可能，因为普通人无法充分了解事情发生的可能性具体有多大。因此他们不清楚很多理论上可能的事情实际上都不可能发生。因此说每一件仅存在理论可能性的事情都将发生这是不可能的。这二者之间简直异如霄壤，所以你觉得有可能的大多数事情其实是不真实的。事实上，这是物理学理论的一个一般原则：无论你想的是什么，十有八九都是错的。因此在物理学史上，称得上正确的理论也就五到十个，我们想要的也就这些。但这并不意味着所有事情都是错的。有错我们总会发现。

为了找个例子来说明什么是将仅仅存在可能性的事情误判为现实中就将发生的事情，我们不妨以圣母西顿的宣福礼[4]为例。这是一位圣洁的女人，她为很多人做了很多好事。这一点毫无疑问——请原谅，应当说少有疑问。教皇已昭告天下：她彰显了美德的伟业。在天主教里，到此阶段即确定为圣母，接下来的问题是要考虑奇迹。因此下一个问题就是确定她是否能创造奇迹。

有一个女孩得了急性白血病，医生们不知道如何来医治她的病。家里人病急乱投医，试了各种办法——不同的药物，各种能想到的措施。其中就有这样一种办法：将一条与圣母西顿的遗骨接触过的丝带别在女孩的床单上，并且安排了几百人为她的康复祈祷。结果——不，不能说是结果——然后她的病体略有起色。

一个特别法庭被安排来调查此事。很正规的，非常小心，也非常科学。其实凡事就该这么处理。每一个问题都要问得非常仔细，问的每一件事情都要非常谨慎地记在本子里。结果记录厚达1000页，翻译成意大

利文后，编辑造册，用特殊的绳子捆好，然后被送往梵蒂冈。特别法庭问参与医治的医生，他们觉得病情如何。医生们一致认为，以前没见过这种情形，这个病例完全不同寻常，以前从没有过得了这种类型白血病的人能够抵抗病魔这么久。结束。诚然，我们不知道发生了什么。没有人知道发生了什么。这有可能是个奇迹。但问题不在于是否有可能出现这个奇迹，而是是否真的出现了这个奇迹，特别法庭的问题正是要确定是否真的出现了这个奇迹，要确定圣母西顿是否真的对此有影响。噢，他们做到了，在罗马做到的。我不知道他们是怎么做到的，但这恰恰就是问题的核心所在。

问题是疗效与向圣母西顿的祈祷过程之间是否存在关系。要回答这个问题，就必须收集所有有利于说明向圣母西顿祈祷在不同病人、不同病程中作用的病例。然后，他们还必须将这些祈祷有明显疗效的案例与没有祈祷的普通人的平均治愈率进行比较，等等。这是一种诚实的、直截了当的调查方式，其中不掺杂任何不诚实和亵渎的成分，因为如果它是一个奇迹，它就靠得住；如果它不是奇迹，科学方法就将摧毁它。

学医并尝试给人治病的人对能够找到的每一种方法都感兴趣。他们发展了临床技术（所有这些技术问题都是非常难的），并试着进行各种药物治疗方法。于是这女孩的病情出现了好转。她在病情好转前还出了水痘。这有什么关系吗？这可以有确定的临床方法——通过比较等——来检验，到底是什么在起作用。问题不在于确定到底发生了什么令人惊讶的事情，而是要真正利用好这件事，确定下一步要做什么，因为如果事实证明病情好转确实与圣母西顿祈祷者的行为有关，那就将值得圣母西顿的尸骨发掘出来（实际也是这么做的），将骨头收集好，拿许多丝带去接触，然后把丝带别在其他病床上。

现在我想谈谈另一个原则或概念，那就是在一件事情已经发生后再来考虑其发生的概率或是否偶然没有任何意义。很多科学家甚至不明白

这一点。其实，我第一次与人争论这一点时我还只是个普林斯顿大学的研究生。当时心理学系有个家伙正在做小鼠比赛实验。我的意思是他有一个T形迷宫样的东西，让小鼠在里面走，它们或转向右，或转向左，等等。心理学家在这些测试中的一般原则是，通过安排使事情偶然发生的概率变得很小，实际上不到1/20。这意味着，他们的法则出错的可能性只有1/20。但计算小鼠是向右还是向左的概率的统计方法就像计算掷硬币出现正面或反面的可能性一样，很容易搞清楚。这位老兄设计了一个实验，想要证明什么我已经不记得了，大概是看小鼠是否会总向右转，譬如说。确切的我的确不记得了。反正他得做大量测试，否则的话它们跑向右就可能是偶然的，因此要使得出错概率小于1/20，就必须多次做实验。这种实验是很难做的，但他做到了足够多次。结果他发现这样做实验得不到确定的结果。小鼠忽而向右，忽而向左，毫无规律。但他注意到，小鼠的跑向有着明显的交替性，开始向右，然后向左，接着再向右，然后再转向左。后来他来找我，说："帮我计算一下出现交替的概率，看看它是否小于1/20。"我说："大概是小于1/20吧，但它没意义。"他问："为什么？"我说："因为事后计算本身就没有任何意义。你看，你觉得奇怪，所以就选择了这种怪事来考虑。"

再譬如，今天晚上我就碰上了件出格的事儿。在来这里的路上，我看到一辆车牌为ANZ 912的车子。请帮我算算在华盛顿州的所有车牌中我碰巧看到ANZ 912的概率。显然这是个荒谬的事情。那么同样，这个心理系的实验者必须这么做：小鼠向两个方向轮流跑这一事实暗示存在向两个方向轮流跑的可能性。如果他想检验这个假设，看看是否超过1/20，他不能用原先的数据来进行，而是必须另外设计一套实验，看看是否存在交替性。他这么做了，结果证明这个假设是错的。

许多人喜欢听信道听途说得来的东西，而且这些东西往往只是个孤例而不是经常发生的事情。人们容易记下碰巧发生的各种事情并受其影响，而且还会举证说，这个你怎么解释。我记得在我生活中也遇到过这

样的事情。我来举两个最明显的例子。

第一个是我在麻省理工学院读书时的事情。当时我正在学生会的楼上写一篇哲学方面的论文。我全神贯注，除了论文主题脑子里没有其他任何事情。突然，很神秘地，我心头掠过一种思绪：我祖母去世了。当然，我现在这么说有点夸张，就像你在谈论这类事情时那样。这种感觉或有或无地持续了近一分钟，但不是很强烈，我夸张了点。重要的是，紧接着楼下的电话就响了。这一点我记得很清楚，因为有人接了电话，招呼道："嗨，彼得，电话！"我不叫彼得，显然是在叫别人。我祖母活得好好的，什么事都没有。我们所要做的就是注意积累大量的这类事情，以对付那些很少出现的不测事件。怪事是会发生的，不是不可能的。但从此以后我就该相信这种奇迹？相信我可以从脑海里的某种思绪感知到祖母是否病了？这类轶事的另一个特点是事发时的所有情况都没法描述。对此我来谈谈另一个例子，尽管有些伤感。

我在十三四岁时遇到过一个女孩，我很爱她，十三年后我们结婚了。但她不是我现在的妻子，一会儿你就会明白。当时她患有肺结核，实际上，她生这病已经有几年了。当我得知她得了肺结核时，我送给了她一只闹钟，是那种大数字翻动的钟，不是带指针的那种。她很喜欢这个钟。生病的那天我把它给了她。她一直将它放在床头有五六年，她的病情越来越重，最后过世了。死亡时间是在晚上9时22分。那天晚上钟也停在了9时22分，以后再也没动过。有幸的是我注意到一些细节，我得告诉你。这只钟走了五年后逐渐慢了下来。每隔一段时间，我就得修一修它，因此轮摆变松了。其次，护士要在死亡证明书上写上死亡时间，但因为房间里光线太暗，她就把钟翻过来，凑近了看上面的数字，然后又把它放下。如果我没有注意到这些细节，我想就会又遇到一些麻烦。因此在谈论这些掌故时我们必须非常小心，要记清楚所有情况，甚至正是那些你没有注意到的事情恰恰可能是解开谜团的关键。

所以，简而言之，你不能因为一件事情发生了一两次就认为它的出现是必然的。一切都必须经过非常小心的检核。否则你就会变成什么疯狂行径都相信但却不了解自己周围世界的人。没人能对所处的世界完全了解，只是有些人比其他人了解得更多一些。

技术上还有一个方面要说说，那就是统计样本。在我说他们试图安排实验以便得到1/20的概率时，我指的就是这个概念。统计抽样这个主题的数学性比较强，我不想深入到具体细节，但总的概念是很清楚的。如果你想知道有多少人身高超过1.8米，于是就随便挑选一些人来量他们的身高，你看到也许有40个人的身高超过1.8米，因此就认为可能每个人都如此。这听上去是不是很愚蠢？其实这是也不是。如果你按能否通过一个低矮的门来选出100个人，那你肯定错了。如果你从你的朋友里挑选100个人，你还是错了，因为他们都来自这个国家的同一个地方。但如果你挑选的方式与人的身高没有任何关系，而且从这100个里面找到了40个身高超过1.8米的人，那么就有把握推断说在1亿个人中有4000万个身高超过1.8米的人。到底要多少个样本才合适是可以精确搞定的。实际上，可以证明，精确度要达到百分之一，你必须有10000个样本。人们没有认识到要达到这个精度是多么困难。为了要达到百分之一或百分之二的精度，你需要至少做10000次尝试。

想判断电视上做广告的效果如何的人用的就是这种方法。不，应该说他们认为他们用的是这种方法。这是一件非常困难的事情，其中最困难的就是样本的选取。他们是如何安排才会有一个普通人愿意将一种小装置放进自己家里，通过它，他们能够记录下所看的电视节目，或者什么样的人才称得上是这样的普通人，他愿意有偿为他们写日志，他在日志中写的每15分钟就能听到这个广告的准确性到底如何，我们都不得而知。因此，我们无法通过这一千个或一万个人的统计样本的行为就推断说一般人是看了还是没看这个广告，因为毫无疑问，样本是有偏差的。这种统计做法是众所周知的，而且都知道选取一个好的样本是一件非常

重要的事情，这是一项科学作业。除非你不做统计。所有的统计研究者都认为，世人都很笨，告诉他们什么事情的唯一方法就是不断侮辱他们的智商。这一结论可能是对的。另一方面也可能是错的。如果它是错的，那我们可就犯大错了。因此，要真正弄清楚怎么来检测人们是否注意不同类型的广告，还是个需要相当尽心的事情。

正如我前面所说，我认识很多人，普通人。我认为他们的智商受到了侮辱。我的意思是在各方面都存在这种情形。你打开收音机，如果你有点个性，非疯了不可。但人们有办法——我还没有学会——就是不听它。我还不知道怎样做到这一点。因此，为了准备这次演讲，我就在家里打开收音机听了三分钟，结果听到了两件事。

首先，打开收音机，我听到的是印第安音乐，新墨西哥州纳瓦霍斯印第安人的音乐。我懂一点这种音乐，以前在盖洛普就听过它，我很高兴。我就不模仿那种战争般的反复轮唱了，虽然我很想这样做。这对我很有诱惑力。这种音乐非常有意思，浸透了他们的宗教精神，深受他们的尊重。因此，我要实话实说，很高兴能在电台里听到这么有趣的东西。这是文化。我们必须老实承认。我敢说，如果你听上三分钟，你一定会觉得它的确不错。所以我一直在听。我要承认我编了一点点。我一直在听，因为我喜欢它，这多好。突然，音乐停下来了。接着一个男声说：“我们正在与交通事故作斗争。”然后他接着说你要小心别被汽车撞着。这不算是对智慧的侮辱，而是对纳瓦霍印第安人的侮辱，是对他们的宗教和他们的思想的侮辱。所以，我接着听下去，直到我听到开始叫卖某种类型的饮料，好像是百事可乐吧，说这是认为自己年轻的人喝的饮料。于是我说，得了，就到这儿吧。我想了一会儿，觉得这事儿整个像一个疯子。什么叫认为自己年轻的人？我想是指那些喜欢做年轻人喜欢做的事情的人吧。有人喜欢这样没什么不好。那么这就是为这类人准备的饮料。我猜想，饮料公司研究部的人在决定该兑多少柠檬汁的时候一定会这样说：“嗯，我们过去生产的都只是普通饮料，我们必须重新

设计配方，不针对普通老百姓，而是专为特想保持年轻的人提供的。多放些糖。”一种专供想保持年轻的人喝的饮料，整个儿设想简直荒谬绝顶。

因此，按照这个结果，我们总是受到侮辱，我们的智商总是被侮辱。我有个战胜它的点子。为对付它人们采取了各种计划，你知道，联邦贸易委员会也一直在努力整顿这类事情。我倒有一个简单的设想。假设你将大西雅图的26个大广告牌全包下来租它一个月，这其中有18块还带照明。你在广告牌上刷上标语：“你有没有感到智商受到了侮辱？不买这种商品！”然后你在电视或广播电台也买下几个时段。在中间插播广告时有个男声说：“对不起，打断一下，如果你发现哪种广告在侮辱你的智商，或以任何方式扰乱你，我们建议你不要购买该产品。”事情很快就会得到解决。谢谢各位。

如果有人想烧钱，我建议他们不妨做个实验，看看普通电视观众的智商到底有多高。这是个有趣的问题，是了解自己智商的一条捷径。尽管有点昂贵。

你也许会说，“这并不十分重要。广告商总得卖东西吧？”等等。但从另一个角度看，认为老百姓没头脑是个非常危险的想法。即使真是这样，也不该用现有的处理方式来处理。

报纸记者和评论员——有一大批这样的人，他们认为公众比他们笨，他们这些记者和评论员理解不了的事情公众也一定搞不懂。这是何等的荒谬！我不想说他们比一般人笨，但他们在某些方面确实比其他一些人要笨。如果我要向记者解释一些科学上的东西，而他问“这个概念是什么意思？”那我就会用简单的词汇向他解释，就像我解释给邻居听那样。他不明白，这是可能的，因为他的成长环境不同——他没修过洗衣机，也不知道什么是电机，等等。换句话说，他没有技术经验。而这世界上有大量的工程师，有许多在机械方面很有天赋的人，有很多人在

科学方面要比记者聪明。因此，既然他的职责就是报道事情，那么不论他理解与否，他都应该按照采访对象告诉他的那样准确地报道出来。对于经济学和其他领域的报道也一样。记者大都认同这样一个事实：尽管他们不太熟悉国际贸易方面的复杂业务，但他们基本上能够按照采访对象所说的意思进行较为准确的报道。但一旦涉及科学问题，出于这样或那样的原因，他们会拍拍我的头，向愚钝的我解释道，老百姓脑子慢，很难明白你说的这些，因为他自己，笨脑瓜一个，无法理解这些东西。但是我知道有些人是能够理解这些东西的。不是每个看报的人都必须读懂报纸上的每一篇文章。有些人对科学不感兴趣，但有些人感兴趣。至少他们能搞懂那是怎么回事，而不是发现重达7吨的机器弄出了一种原子子弹。我读不下去这样的文章。我不知道它说的是什么意思。我不知道重达7吨的是一种什么样的机器。现在基本粒子多达62种，我想知道这种原子子弹是用哪种粒子制造的。

这种统计抽样的做法，以及用这种方法来确定人的属性的做法的确有非常严重的问题。这种方法应得到充分利用，但对它的使用必须非常非常的小心。它可以用于人事上（通过考试）选拔人才，也可以用于婚姻咨询，凡此等等。但它被用来决定人们是否能够上大学，我就不赞成，关于这方面的论辩我就不在这里展开了。有谁决定上加州理工学院，可以来找我讨论这些问题。在我给出这些论据之后，有机会我会回来告诉你们有关的结果。但是大学录取工作除了有抽样方面的困难外，还有其他方面的严重问题。现在有一种趋势，就是只用可以定量衡量的数据作为取舍依据。就是说，人的精神，他感知事物的方式，很难得到衡量。有种倾向是通过面试来设法矫正单纯考试带来的偏差。这当然很好，但多考几次要更容易些，因此人们不愿意把时间浪费在面试上，结果是只有那些可以定量衡量的东西，其实是他们认为他们可以定量衡量的东西，才会被考虑，很多好东西则被排斥在外，很多人才就这样被错过了。所以这种事情做起来是有风险的，必须经过非常仔细的检查。像经常出现在杂志上的有关婚姻问题的测试，“你和你丈夫相处得怎

样？”等等，都是无稽之谈。那上面通常会说：“这项测试已经有一千对夫妇做过。”然后你会被告知人家是如何回答的，你再对比你是如何回答的，就可以知道你的婚姻是不是幸福美满。做这种问卷调查，你要做的是下列这些事情。你整理出一堆问题，诸如：“你让他在床上吃早餐吗？”等等，然后将这问卷发给1000对夫妇作答。同时你用一个与问卷调查独立无关的办法来探知答卷者的婚姻是否幸福美满，譬如直接问他们，或其他方式等。不过这都没关系。即使问卷设计得非常完美，也没什么区别。这不是问题之所在。然后你这么做：你观察所有那些洋溢着幸福的夫妇——看他们是如何回答在床上吃早餐的问题，他们是如何对这个或那个问题作答的。你看到了吧，这同小鼠走迷宫向左转向右转完全一样。他们已经根据一个样本确定了事情发生的可能性。如果他们做事地道，那么接下去该做的就是用设计好的问卷再做同样的测试，现在他们已知道如何评分。这样答题给5分，那样答题给10分，其依据就是那一千对夫妇的答卷，如果他们很快乐，就得高分；不快乐就得低分。但现在是对这一测试再行测试。他们不能使用原先用来确定得分的样本。那样的话就又回去了。他们必须独立地另找1000对夫妇再行测试，看看是不是幸福的都得高分，不美满的都得低分。但他们不会这样做，因为一是那样太麻烦，他们没有时间；再者他们试过几次，发现这种测试不十分有效。

现在看看世界上所有这些不科学的、稀奇古怪的东西所带来的麻烦，我认为其中有很多事情其实并不是因为思考上有多么困难，而只是由于缺乏信息。特别是占星术，信的人有很多，毫无疑问，在座的一定也有不少。星相师说，有些日子去看牙医要比其他日子好。如果你生在某一天的某个时辰，那么你在某某天坐飞机就更安全。这些都可以按星相位置采用一定法则计算出来。如果真是这样，那将是非常有趣的。卖保险的对此最有兴趣了：他们可以按照占星术规则来改变投保人的保险费率，因为这些人在这些天里坐飞机安全性更高。但星相师从来没有检验过那些不该在那天登机的人登机的结果是否挺糟糕。哪天是做生意的

好日子哪天不是这种问题从没有被真正搞清楚过。那占星术到底有没有用呢？

也许它的确是真的，是的。但另一方面，有数不尽的信息表明它不正确。因为关于如何工作有效率，人是什么，世界是什么，恒星怎么回事，你看到的行星又是怎么回事，是什么让它们不停地转呀转，两千年后它们会在什么地方，等等，所有这些问题我们都完全清楚。我们没有必要抬头看看才知道它们在哪里。而另一方面，如果你非常仔细地读读不同星相家编的书，你会发现它们彼此矛盾，这时你怎么办？最好就是不相信它。那一套东西根本就没有证据，纯粹是无稽之谈。你之所以会相信这些事情的唯一原因就是关于星星和世界以及其他看起来像那么回事的东西的信息是普遍缺乏的。如果这种现象存在，那它就会是极其显著的，会在所有其他现象面前表现出来。除非有人能用真实实验向你证明，能将相信的人和不相信的人拢在一块做一次检测，如此等等，否则就没理由非要听他们摆布。顺便说一句，这种测试早在科学诞生之初就已经有了。那是相当有趣的。我发现在早年间，譬如发现氧气等的那个年代，人们就曾提出这类实验来试图找出答案，例如——这听起来很蠢，那是因为你害怕对它进行测试——像传教士这样经常祈祷的好人是否会比其他人更少遇到海难。因此传教士要到遥远的国家去传教前，他们都会查阅资料看看传教士是否会比其他人更少遇到海难，结果发现没有任何区别。由此许多人不相信这有什么差别。

还有，如果你打开收音机——我不知道这里的情形如何，想必应该是相同的吧——加州的情形是，你听得到各种借助信仰来治病的医生的宣讲。我在电视上见过他们。要解释清楚为什么这又是一个荒谬可笑的命题耗费了我不少精力。事实上，所谓受人尊崇的整个宗教教派，即所谓基督教科学教派，正是以通过信仰来为人治病为基础的。如果这真的有效，它可能早就确立了，用不着通过个别人的趣闻轶事来宣讲，而是通过仔细的检查，通过技术上好的临床疗法，就像治疗疾病的其他方法

一样。如果你相信这种信仰疗法，你很可能就不会采用其他方式来治病。这可能会耽误你早点去看医生。有些人信得还挺深，那就会耽误更长的时间才去看医生。信仰疗法有可能不是那么有效。还可能是——我们不能肯定——它根本就无效。因此相信信仰疗法很可能会带来危险，这不是闹着玩的，它可不像喜欢占星术那样无伤大雅，你相信只能在某些日子做某些事情仅仅只是带来一些不方便。最好是调查一下，我想知道——我们每个人都有权知道——相信基督的治病能力到底是使更多的人受到伤害还是有助于病情好转；这样的事情到底是带来更多的疗效还是更多的伤害。这两方面都是可能的，但需要调查。我们不应该没有调查就让相信它的人受到蒙骗。

广播里不仅有通过信仰治病的医生，还有教会播音员用圣经来预言各种将要发生的现象。我好奇地听到过有个人在梦中见到了上帝，并收到了给他那片教区信众的各种专门信息，等等，唉，这不科学的年代……对这种事情我真不知道该如何处置。我不知道要用什么样的推理能够很快证明那是有病。我想它只能属于那种对这个世界的复杂性缺乏基本了解的人，他们不了解这个世界是多么精致，像他们所讲的那些事情发生的可能性是多么微小。当然，在没有更仔细地调查之前我不能否定那些东西。也许有某种方法能够不断追问他们是怎么知道这是真的，并使他们能够记住自己错了。无论如何，记住这一点就够了，因为您可能会因此捂紧钱袋不去送上太多的钱。

当然，这个世界上还有许多完全是因一种大众的愚蠢而产生的现象是你没法搞定的。我们都做过蠢事，我们知道有个别人做的蠢事更多点，但要试图证明谁做得最多是没用的。还有通过政府法令来保护这种愚蠢行径的尝试，但没有完全成功。

例如，我曾为了买地到过一处荒无人烟的地方。你知道他们卖土地是要推动将这片土地建成一个新的城市。这很令人激动，很了不起的。

你一定得去看看。试想你站在一个什么都没有的荒原上，地面上插着旗帜，上面写着地段编号，旁边竖着有街道名字的牌子，那是一种什么感觉！你驾车驶过荒地找到第四街标号为369的地段，这就是你的地盘了，你会怎样想？你站在那里，踢着脚下的沙粒，一边与销售人员谈论着为什么买街角的位置合算，这里车道有多方便，哪边都可以进出。糟糕的是，你信不信吧，你发现自己已经转到讨论海滨俱乐部上去了，它该在哪一片海滩，入会需要什么样的规则，你可以带多少朋友前来，等等。我敢肯定当时我一下子就陷进去了。

因此到了你想买地的时候，你会发现州政府已经采取措施要为您提供帮助。他们印制了专门的说明书供你阅读，卖地的推销员会说，这是明文规定，我们必须给你这个供你阅读。他们给你看说明，上面说，这里的地产交易与加州其他地方的做法无甚区别，等等。但在其他事项里我了解到，虽然他们希望能有5万人来这里住，但水源严重不足，缺口是多少我不好说，否则会被控涉嫌诽谤，但确实相差很多——确切的我记不得了——大概仅够5000人左右吧。当然这之前他们也注意到了这一点，因此告诉我们说他们刚刚在远处另一地点发现了水源，正在用泵将水引过来。当我问起这事时，他们非常小心地向我解释说，这个水源是刚刚发现，还没来得及印上州政府颁布的小册子里。呜呼。

我再讲另一个类似的例子。有一次在大西洋城，我进了一家商店。里头有很多座位，人们正坐在那里听一个人讲话。他非常有趣，知道很多有关食品的事情，他正在谈论营养和其他什么事情。我记得他讲述了一些重要的东西，譬如“甚至蠕虫都不吃精白面粉。”诸如此类。他讲得很好，也非常有趣。这都是对的——也许关于蠕虫的部分讲得不是很对，但谈到蛋白质等部分都很对。接着他描述了联邦纯净食品和药品法，解释了这项法案是如何保护你的。他解释说，自称是好的保健食品的每一种产品都有助于你补充矿物质和这样或那样的营养，这些瓶子上都会有标签，告诉你它的成分、它的作用，所有说到的好处都会明确标

出，因此，如果这里头有错，将会怎样怎样。他向听众说明了一切。我心里想：“他这样怎么赚钱呀？”接着他就拿出了瓶子。终于清楚了，原来他是卖这种特效保健食品的，东西当然放在一个棕色瓶里。说来也巧，他初来乍到，匆忙之间还没有来得及把标签贴上。这边是要贴到瓶子上去的标签，那边是瓶子，他急着卖药，于是一边给你瓶子，一边递给你标签让你自己贴上去。这家伙真是勇气可嘉。他先给你解释怎么做，应该担心些什么，然后就现身说法这么做给你看。

我发现上一场演讲就有点与此类似。我指的是为我安排的第二场丹茨演讲。那场演讲一开始我就指出很多事情完全是不科学的，很多事情是不确定的，特别是政治上的事情。我说到两个国家——苏俄和美国——在互相争斗。经过一通神秘戏法，我们成了好人，他们成了坏人。然而在开始时，没有任何办法能决定哪个好哪个不好。事实上，这正是那一讲的重点。只不过我玩弄了点手段，从不确定中弄出某种相对确定性来。我刚刚跟你讲了瓶子和标签的事儿，然后我就走向另一端，将标签贴在了我的瓶子上。我是怎么做到这一点的呢？你必须好好想一想。当然，有一点我们可以确定，那就是一旦我们不能确定一件事，那么我们感到不确定这件事本身就已经是不确定的了。有人说“不，也许我敢肯定。”而事实上，我在那一讲里摆的噱头，也就是整个事情的薄弱点，是这样的，本来需要进一步阐发和研究的事情却变成了这样：我慷慨激昂地呼吁大家注意我的观点，譬如说最好有开放的渠道，不确定性是有价值的，更重要的是允许我们去发现新事物，而不是选择我们现在给出的解决方案——选择一个解决方案，无论现在怎样选，比起我们等待事情有点眉目了再来确定的方案，肯定要差得多。而这正是我做出的选择，而且我不能确定这样的选择是否正确。看到了吧，现在我已经把权威给破了。

这些问题都与缺乏相关的信息有关。但还有些现象，特别是在缺乏信息方面，我相信，要比占星术更为严重。

为了准备这次讲座，我调研了我所住城市的购物中心的一些事情。有这么一家店，门前挂着旗子。店名叫美国主义中心，奥塔迪纳美国主义中心。于是我走进美国主义中心想看看它是干什么的。原来这是一个志愿者组织。门外贴有美国宪法和人权法案等文件，还有一封信，内容是解释这个组织的宗旨，是为了保障人权，等等，其行事都按照美国宪法和人权法案等原则。情形大致如此。他们做的工作纯粹是教育性的。他们有各种各样有关如何提高公民意识等的书供人们选购，除此之外也有其他书籍，譬如国会记录、国会调查等小册子，那些正在研究这些问题的人就可以读到这些。他们还有晚间活动的学习小组，等等。由于我也关注人权问题，于是我问道，我有一事不是很了解，我想问问这里有没有关于南部各州黑人的投票自由问题的书。没问题，有的，在那儿。随后就出现了一件事，我在拐角看到了两本书，一本是根据牛津城教父写就的密西西比掌故，另一本是一本小册子，上面有“全美有色人种和共产主义促进协会”的字样。

因为我想对此做些比较详细的了解，看看到底会发现什么，于是就跟女店员交谈起来。她解释了很多其他事情（我们谈了很多事情——气氛非常友好，你听了会感到惊奇），她说她不是伯奇协会[5]的成员，但知道一些有关伯奇协会的事情，看过一些这方面的电影，等等，因此可以谈谈这方面的东西。她说如果你加入伯奇协会，你就不会置身事外了。至少你知道你想要什么，因为如果你不想要的话你可以不参加进来，这是韦尔奇先生说的，是伯奇协会的入会方式。如果你相信这个你就该加入；如果你不相信这个，那么你不应该加入。这听起来就像某党。在他们没有掌权时一切说得都非常好。但一旦有了权力，情况就完全不同了。我试图向她解释，这不是我们谈论的那种自由，在任何组织中，应该允许存在讨论的可能性。作壁上观是一门艺术，而且做起来挺困难；重要的是实事求是，而不是走向这个极端或那个极端。行动起来是不是就一定比作壁上观更好？不一定吧。如果你还不知道该朝哪个方向走，盲目行动只会更糟。

于是我在那里买了两件东西，随便挑的。一件是《丹·斯穆特报告》[6]——名字不错——谈的是宪法和我将要展开的一般性概念：原版宪法就很好，后来所有的修正案都是错的。原教旨主义不只是表现在对圣经的态度里，也表现在对宪法的态度里。接着书中按国会议员的投票以及他们投的是什么票对议员进行了评级。在解释了他们的想法之后，书中非常明确地说道："下面按照国会众议员和参议员在支持还是反对宪法的表决时的投票对他们做一个评级。"我要提醒你，这些评级并不只是一种意见，而是基于事实。这个事实就是投票记录。事实，不掺和任何意见，只凭表决纪录。当然，每一项不是支持就是反对宪法。譬如医疗保险自然就是反对宪法啦，等等。我要说明的是，他们违反了自己的原则。根据宪法，投票是不言而喻的。但宪法没有假定事前自动认定哪些是对的哪些是错的。否则就不用麻烦成立议会来进行投票了。只要你有投票，那么投票的目的就只是试图让你下决心决定走哪条路。任何人都不可能事先确定会得到什么结果。因为那样就违反了宪法本身的原则。

伯奇协会开始时不错，有善、有爱、有基督，等等，它这么发展着直到遇到了可怕的敌人。然后它就忘记了原先的宗旨，整个倒了个个儿变得与初衷截然相反。我相信刚开始时那些行善友爱的人们，特别是奥塔迪纳的女志愿者，是怀着一颗善良的心，对它好的地方、宣传宪法等有所了解才加入进来的，但在这个组织里他们被引入歧途了。具体如何我不太了解，怎样做才能避免这样，我也不确切知道。

我又通过进一步深入了解，搞清楚了这个学习小组到底是干什么的了。如果你不介意，我可以告诉你那是做什么的。他们给了我一些文件。房间里有很多椅子。他们向我解释道，是的，当晚他们是有个小组活动。他们给了我一件东西，上面描述了他们将要学习的内容。我记下了其中的一些内容。它与S.P.X.研究协会有关。1943年，S.P.X.研究协会——果然是……好吧，我告诉你它是干什么的——应运而生，它是美国

军方现役情报人员针对苏俄启用长期休眠的第十作战原则而成立的。瘫痪、找茬、休眠，神秘，让人觉得可怕。自有罗马军团以来，执行军事命令的神秘人物都曾有过各种作战原则。第一条、第二条、第三条……这是第十条。我们不知道第七条是说什么来着。存在长期休眠的作战原则这种设想，何况还是第十条作战原则，是极其荒谬的。那么什么是瘫痪原则呢？他们怎么运用这一概念呢？这就要说到幽灵（boogie man）。你知道什么叫幽灵吗？你可以这么来考虑，这个教育项目就忙于这些事情：任何领域——农业、艺术、文化交流、科学、教育、新闻媒体、金融、经济、政府部门、劳动力市场、法律、医药、军队和宗教，这是最敏感的领域——都有可能被苏俄人用来瘫痪美国的抵抗意志。换句话说，我们现在有了这样一部开放的机器，任何持不同政见者都可以被指控为受到第十条作战原则的神秘力量的影响而处于精神瘫痪状态。

这是一种类似于偏执狂的现象。你不可能驳倒第十原则。唯一可能的是你有一定的思维平衡能力，对世界有一定程度的了解，懂得那种认为最高法院——这一沦为“征服全球的工具”——已经瘫痪的想法是一种思维失控的表现。你看这会变得多么可怕！一个又一个这种虚构的存在可怕力量的例子一而再、再而三地证明了这种活动能量的可怕。

这种事情说明了什么叫偏执狂。一个女人变得神经兮兮，她开始怀疑她丈夫正试图找她麻烦。譬如她不喜欢他进屋。但他还是想方设法要进屋，这正好说明他正在找她的麻烦。他找朋友来说服她。她知道这是个朋友，但她内心却偏激地认为这不过是进一步说明了他的可怕企图，只会强化她脑海里的惊恐。邻居们过来调解，劝了好一阵子，但没效，只好各自回去了。丈夫的那个朋友跑到邻居家想请他们再努努力。但他们都厌倦了。但她觉得他们会告诉她的丈夫她曾说过的所有可怕的事。哦，亲爱的，她怎么说的？他会利用他们来对付她。她打电话给警察局。她说，“我好害怕。”现在她把自己锁在房子里。她说，“我好怕。

有人试图闯进屋子里来。”警察来了，想和她谈谈，他们认为没有人想闯进她的屋子。他们要回去了。这时她想起来她丈夫是这座城市里的重要人物。她记得他在警察局里有朋友。警察局也是这一阴谋的一部分。她的猜想再次得到了证实。她从窗口看出去，看到对面有人在一个邻居家串门。他们在说什么？她看到后院有什么东西在动。他们在用望远镜监视她！事后证明那只是一些小孩在后院里用木棍耍着玩。她就这样不停地胡思乱想，直到把所有人都牵扯进来。她想起来了，她叫的那位律师曾是她丈夫的一个朋友的律师。那个一直在劝她到医院做检查的医生明显站在她丈夫一边。

因此，唯一的办法是保持一定的心理平衡，认识到不可能整个城市都跟她作对，不可能每个人都会注意到她丈夫的无助。人人都在忙着这件事，他们抱成团，所有邻居、每个人都恨她，这就过分了。但你怎么向一个不明事理的人解释这一切？

S.P.X.研究协会就是这样的人。他们没有分寸感，相信存在苏俄第十作战原则这样的可能性。对于这种情形我认为要战胜对手的唯一办法就是，他们说得对。像我那位卖药丸让你自己贴标签的朋友那样，苏俄人的确非常非常天才和聪明。他们甚至告诉我们他们正在对我们做什么。你看，这些人，这些研究协会实际上正在步苏俄人的后尘使用这种瘫痪方法。他们希望我们做的就是对最高法院失去信心，对农业部、对科学家和对在各方面帮助我们的所有人失去信心。在所有方面失去信心。这就是那些已经加入并希望人人都加入自由运动的人所采取的方法。他们打着宪法的旗帜投机钻营，他们正在变得无处不在，他们正在使我们的国家变得瘫痪。证据？用他们自己的话说就是：S.P.X.研究协会有合法的手续，作为针对第十作战原则的美国主要权威机构在美国法庭上宣过誓。他们从哪儿得到信息？只有一个地方。就是从苏俄人那儿。

这种妄想症，这种现象——我不应该称之为偏执狂，我不是医生，我不懂——但这种现象非常可怕，它造成了人类和个人极其严重的不安宁。

同样的例子还有著名的犹太教长老议定书。这是一份伪造的文件。它可能是犹太老人与犹太教长老自发聚在一起炮制的一个统治世界的计划。国际银行家，听到了吧，国际的……多么庞大的一部机器！就是妄想得过头了。但它又没有过头到让人们根本就不相信它，它还曾是反犹太主义势力发展中最强大的力量之一。

在许多方面，我所要求的只是保持一种基本的坦诚。我认为，我们在政治问题上应该有更谦卑的诚实。我认为那样我们会更加自由。

我要说人都是不老实的，科学家也一样不老实。这是没办法的事，没有人诚实可靠，科学家也不可靠。但人们通常认为他们是可靠的，这就使得情况变得更糟糕。这里说的老实可靠不是说你只能说那些真实的东西，而是指你弄清楚了整个局面。您能为那些聪明人提供他们下决心时所需要的所有信息。

例如，在核试验方面，我自己也不知道我是赞成核试验还是反对核试验。这两方面都可以列出各种理由。它造成放射性，具有危险性，而且还会将我们拖入战争。但你进行核试验到底是使战争的可能性增大了还是减小了，我不知道。到底是备战能制止战争还是不备战能制止战争，我不知道。因此我对哪一方都不发表意见。这就是为什么我在这个问题上可以坦诚告白。

当然，最大的问题是到底存不存在放射性带来的危险。在我看来，核试验最大的危险和最大的问题是其对未来的影响。核战争造成的死亡和放射性要比核试验大很多倍。它对未来的影响也要比现在产生的少量的放射性远远重要得多。但多少才算是少量放射性呢？有放射性总是不

好的。没人知道一般放射性的正面效果。因此，如果你增加了大气中的放射性水平，那你就是在生产不好的东西。因此从这个角度说，核试验是在制造不好的东西。如果你是一个科学家，那么你就有权利并且应指出这一事实。

另一方面，这件事情是可以量化的。问题是多少才算是不利？您可以玩游戏，显示在未来两千年里你将杀死一千万人。如果我在汽车前面走，我希望将来能有更多的孩子。你也可以通过某种算法算出我会在今后一万年里杀死一万人。问题是这种作用有多大？上一次……（我真希望——我本该检查一下这些数字，让我换一种说法。）下一次你听演讲时，可以提问我要告诉你的下面这些问题。因为我上次听演讲时问了些问题，我能记住演讲者的回答。但我最近没有检查这些数字，所以我拿不出任何数字，但我至少可以问这样一个问题，那就是从不同地域的放射性变化上看，放射性的增幅到底有多大？木质结构建筑的背景辐射量和砖石结构建筑的有很大的不同，因为木材的放射性要比砖石小得多。

当时我问的问题的答案是，核试验引起的对整个环境的影响变化要小于砖结构建筑与木结构建筑背景辐射量之间的变化。而且海平面的放射性强度与1500米高大气中的放射性强度之间的差别更是要比原子弹核爆试验所产生的额外放射性至少大上100倍。

现在我要说，如果一个人是绝对诚实并希望保护民众免受辐射伤害（这正是我们的科学家朋友经常说他们正在做的事情），那么他应当把工作重点放在上述最大数字方面，而不是最小数字方面。他应当指出，生活在丹佛城里所吸收的放射性是如此严重，是核爆背景辐射的100倍，因此所有丹佛人都应该转移到低海拔地区。其实实际情形——如果你住在丹佛，不必害怕——并不严重，没有多大差异。这只是一个很小的影响。我相信核爆带来的影响要比不同地域海拔高度差带来的影响还要小，但我不能完全确定。我请你们提问以便搞清楚的这个问题是：是

否就因为放射性的缘故，你会像设法阻止核试验那样十分小心地不走进红砖建筑物？当然，从政治上考虑，反对核试验还可以有许多很好的理由。但那是另一个问题了。

在科学的事情上，我们正变得越来越多地与政府打交道，在各方面也越来越缺乏老实态度，特别是在对不同行星的探险和各种空间探险活动的报告和描述中缺乏这种诚实的态度。举一个例子，我们不妨以探测金星的水手二号探测器为例。[7]这是一件非常令人振奋的事情，一件了不起的事情，人类已经能够从地球上将一个东西发送到6500万千米以外的另一个地方。而且离它是那么近，可以在3万千米之外得到它的图像。这种兴奋让我难以言表，真是太有趣了。我已经超时了。

在这次探测期间发生的故事也同样有意思，令人兴奋。先是机器出了故障。地面控制人员不得不将所有仪器关闭一段时间，因为太阳能电池板不能正常工作，整个卫星有可能失去控制。后来太阳能电池恢复正常，又能够继续供电了。接着又出现探测器过热问题。不是这个出点毛病就是那个不正常，然后又恢复工作。新探险所遇到的所有事故和兴奋都尝遍了，就像哥伦布或麦哲伦环球航行，遇到过哗变，遇到过各种麻烦，还发生过海难，不一而足。这次探测确实是个激动人心的故事。例如，当出现过热时，有人写文章说，“这是过热现象，我们正好可以从中学习。”我们能学到什么？如果你对此懂点皮毛，你就会知道你学不到任何东西。你把卫星发射到近地轨道上，你知道它从太阳那里能接收多少辐射……我们知道这一点。当卫星飞临金星时又得接受到多少辐射呢？这都有绝对精确的定律可依，这就是著名的平方反比律。你离得越近，光线就越强。这很容易。因此，为了调节温度需要在星体上漆上多大的黑白比例是很容易弄清楚的事。

我们唯一学到的是，它出现过热，不是由于别的什么原因，而是整个发射工作太过匆忙，一直忙到发射前的最后一分钟；内部仪器老在

改，结果探测器内部集聚了过多的热，超出了原设计所容许的范围。因此，我们学到的不是什么科学的收获。而是在这些事情上要学得仔细一点，不要这么匆忙，到最后一分钟心里还老想着调整。也是奇迹使然，探测器飞临金星时，所有仪器基本上都正常了。按原计划，探测器应当在绕金星做轨道运动时飞临金星21次，拍摄下如同电视画面那样的图像。实际只成功了3次。这已经很好了，堪称奇迹。这是一个了不起的成就。哥伦布曾说过，他做环球航行是为了黄金和香料。但他没找到黄金，找到的香料也很少。但这次发射确实是一个非常重要、非常激动人心的时刻。人们原本希望水手能够传回重要的科学信息，结果并没有，我告诉你没有。过会儿我再来纠正这种说法。实际上它近乎没有。但它是一个了不起的、令人兴奋的经验，而且对未来会有更多的影响。他们在文章里说，从对金星的观察来看，云层之下的表面温度高达800摄氏度。这已是众所周知的了。今天，我们用帕洛玛望远镜在地球上就可以测得金星的这一温度，现在不过是进一步得到了证实。何等的聪明！同一信息在地球上观察就可以获得：我有一个朋友，他就有这方面的资料。他的房间里有一张很漂亮的金星地图，上面有表示不同地区的冷热和不同温度的等温线，非常详细，就是从地球上得到的，不是仅有3块带高低示性的区域而已。这次飞行有一件斩获值得指出——金星与地球不同，周围没有磁场——这一信息是从地球上不可能得到的。

在从这里到金星的途中还有许多非常有趣的信息。应当指出，如果你不是要发射探测器到一个行星上去，你就不必在其中安装额外的校正装置，不用加装额外的火箭来重新引导它。你只管把它发射出去就完了。你可以安装更多的仪器，更好的仪器，对探测器内部空间利用进行更精心的设计。如果你真的想在地球与其他行星之间的空间里找到什么有用的信息的话，你不必花力气奔着金星去。如果最重要的信息来自行星际空间，而我们又希望得到这样的信息，那么就让我们再发送一个卫星上去，它没有必要飞向某个行星，也没必要加装与此相关的各种复杂设备。

另一个是徘徊者号探月卫星项目[8]。我生病了，当我在报章上读到前后5次发射结果是一次接一次的失败时，我真是非常的难受。每一次我们学到了一些东西，然后却不继续沿该方向走下去。我们得到的教训非常多。这次是有人忘记了关闭阀门，下一次则是有人让沙子跑进了仪器。有些时候我们学到了一些东西，但在大多数时候我们只知道问题出在我们的工业界、我们的工程师和科学家身上。计划失败了，而且失败了这么多次，没有一个合理、简单的解释。就我所知，我们完全不必出现这么多次失败。这一定是在组织上、在行政上、在工程上或在这些仪器的制造等环节上出了什么问题。重要的是要认识到这一点。知道我们一直在学习是远远不够的。

顺便说一句，有人问我，为什么要到月球上去？因为这是科学上的一次伟大的探险。顺带指出，它也是一项技术开发工作。你必须制造出登月用的所有这些仪器——火箭等——因此技术开发也是非常重要的。此外登月还使科学家感到高兴。如果科学家们高兴了，也许便会弄出些军事上有用的东西来。另一种可能是直接将太空技术军事化。我不知道该怎么做，也没人知道该怎么做，但事实证明是存在这种使用可能的。不管怎么说，这都是可能的：如果我们将登月用的长程运载技术继续朝着军事方面发展，也许有助于遏制苏俄将某些我们尚未掌握的技术转为军事用途，从而建立起间接的军事优势。也就是说，如果你能制造出更大的火箭，那么你可以直接用它们从地球这边打到地球那边而不必登月。另一个好的理由是宣传上的。让对手在某些技术领域取得领先已经让我们在世界面前丢了脸。正好我们可以就此将脸面找回来。所有这些理由单独来看都不足以解释我们为什么要登月。但我相信，如果把所有这些理由合在一起，再加上其他一些我没想到的原因，理由就充分了。

嗯，我算打中要害了。

我想谈谈另一个问题，就是你如何获得新想法。这是同学们最感兴

趣的了。你如何获得新想法呢？通常你会通过类比，但我要说用类比会使你经常犯大错。我们不妨回顾一下过去，在那些不科学的年代，看看都有些什么东西，然后再看看我们现在是否有同样的东西，如果有的话在哪里？我想这么做一定挺有趣。首先，我们拿巫医开刀。巫医说他知道如何治病。病因是你体内有魂灵正在试图跑出来。你必须用鸡蛋将它们驱除出来，等等。他们将蛇皮披在病人身上，再从树皮里取些个奎宁。奎宁起效了。但他不知道他用了错误的理论来解释。如果我在部落里正好有病，我去看巫医。他对此知道得比其他任何人都多。但是我总想告诉他，他不知道自己在做什么。当某一天，人们可以自由自在地调查事情真相，并摆脱他的那些复杂概念的时候，他们将学到很多更好的办法。当今谁是巫医？自然是精神分析学家和心理学家。如果你看看他们在极短时间里发展起来的那些复杂概念，再比较一下任何其他科学领域里从一个概念发展到下一个概念要经过的漫长时间，你就会明白精神分析和心理学是怎么回事。试想所有那些结构、发明和复杂的事情，本我与自我，张力和应力，推和拉，等等，我告诉你，它们不可能一股脑地全出现在那里。没人能在这么短的时间里炮制出这么多的新概念来。不过我提醒你，如果你身在其中，除了接受还真没法可想。

现在我可以来点更有意思的，是专门讲给你们大学的学生听的。我曾认为，在中世纪，阿拉伯学者对科学是有贡献的。他们自己做过一点科学研究，这不容否认。但他们写了很多关于前人的评论，写了很多评论这些评论的评论，彼此之间你写我我写你，不断地写这些评论。写评论是文化人的一种病态。传统是很重要的。但新思路、新的可能性的自由发挥则在“已有方法要比我能够想得出来的更好”的口实下被否定掉了。我没有权力改变这一切，无权发明任何东西或思考什么事情。那么，今天的这种人则是你的英语教授。他们沉浸在传统之中，他们写评论。当然，他们也教我们或我们中一些人的英语。这是类比不起作用的地方。

现在，如果我们在这里继续运用类比，我们看到，如果他们有更富启迪的世界观，那么就会出现许多有趣的问题。譬如说，现在有多少种词类？咱们要不要再发明一种词类？噢——我不应乱说！

那么词汇又当如何呢？我们的单词是不是太多了？不，不，我们需要用词来表达思想。那么我们的词汇是不是太少了？不，机缘凑巧，在时间的长河里，我们恰好发展出了一种完美的构词法。

现在，让我在较低水平上问这个问题。这就是，你总听到这样的问题："为什么约翰尼不会识读？"答案是，因为拼写。两千年前，甚至更早的三四千年前，腓尼基人已能够从他们的语言中整理出一套描述声音的符号系统。它非常简单。每种读音对应于一个符号，每一个符号对应于一种读音。所以你看到符号就能知道它怎么读。这是一个了不起的发明。但在这之后，事情有了变化，英语变得失控了。我们为什么不能改变拼写？如果不是英语教授做这事还有谁能做？如果英语教授会向我抱怨说，来上大学的学生经过这么多年学习还不能拼写"friend"，我会对他们说，问题出在你拼写"friend"的方式上。

此外，如果他们想辩解，也许会这么说，这是一个事关语言风格和美感的问题，如果创造新词和新的词类，这种风格和美感就可能遭到破坏。但他们解释不了拼词与风格之间到底有什么关系。其实这根本就与什么艺术形式或文学形式无关，只有拼字游戏是唯一的例外，其中拼写会造成风格的差异。即使是拼字游戏，也可使用不同的拼写。如果英语教授不来做这件事情，如果我们给他们两年时间还一点动静都没有——请不要发明三种拼写方式，一种就好，大家都习惯了——如果我们等了两三年还没有任何反应，那么我们就要去问问语言学家了，因为他们知道如何做到这一点。您知道吗？他们可以用字母写出任何一种语言，这样当你听到它时，你就可以知道它在另一种语言里是如何发声的。这真的很有意思。因此，单就英语来说，他们应该能够搞定。

我还有一件事情要留给他们。业已证明，用类推来争辩存在很大的危险。我们应该指出这些危险。但我没有时间做这些了，所以我把指出类推引起的推理错误留给你的英语教授去处理。

有很多东西，正面的东西，是科学的推理起作用的，并且在这方面取得了很大进展，前面我挑出了很多负面的东西。我想让你们知道我赞赏积极的东西。（我也明白我说得太长了，所以我这里只能提及一下这些东西。但这样显得正负不成比例了。我真想多花些时间。）有许多事情，理性的人们正通过很有道理的方法在非常努力地进行着。但还没人注意到这一点。

例如，人们已安排好交通系统，交通路况的安排在其他城市一样会奏效。刑事侦破在如何获取证据、如何判断证据、在证据面前如何控制自己情绪等方面已经处于相当高的水平。

在考虑人类的进步时，我们不仅要考虑到技术性发明方面，对那些数量巨大且相当重要的非技术性发明也不能忽视。例如，在经济学领域，我们发明了支票、银行以及诸如此类的东西。国际金融安排等更是了不起的发明。它们是绝对必要的，代表了一种伟大的进步。再譬如会计系统。商业会计就是一种科学的过程——我是说也许它不属于科学，但却是一个理性的过程。法律制度也已逐步发展起来。我们有了陪审团和法官制度。当然，其中还有很多不足和缺陷，为此我们必须继续努力加以改进，但这不妨碍我对它表示钦佩。政府机构的发展也已进行多年，在某些国家，大量问题已经得到解决，其采用的方法有些我们可以理解，有些还不能。我要向你提到一件事，它一直让我搞不懂，这就是政府对军队的实际控制问题。历史上大多数时候遇到的麻烦便是强大的军队试图控制政府。不掌握军权的人可以控制掌握军权的人，这很神奇，是不是？罗马帝国遇到的困难也正是这一点：禁卫军比议院更强大。而且这个问题似乎没法解决。然而在我们国家，我们有一套约束军

队的纪律，使得他们永远不能试图直接控制议会。人们取笑军方高级将领，随时拿他们开涮。无论有多少事情让他们如鲠在喉，我们这些平民仍能够控制军队！我想是军队的纪律让他们知道自己在美国政府中的位置，这一点正是我们的一项伟大遗产，是我们非常有价值的东西之一。我不认为我们应当对他们如此苛责，除非他们不耐烦，要摆脱自我施加的纪律。不要误解我的意思。军方像其他任何方面一样也有很多缺点。他们处理安德森先生（我觉得是这个名字，就是那个谋杀同胞的人）的方式就是一例。如果让他们接管权力，还不知道会发生什么事情。

现在，如果我们展望未来，我想谈谈科学的未来发展。存在这样一种可能性，就是当我们实现了聚变控制的时候，我们几乎就摆脱了能源危机。在不久的将来，生物学的发展将会带来前所未见的问题。生物学的迅猛发展将会引起各种非常令人兴奋的问题。我没时间讨论这些了，因此只能请你们有时间去读读赫胥黎的书《美丽新世界》，那里面给出了未来生物学可能会带来的种种问题。

关于未来，有一件事情我很看好。那就是很多事情都趋势向好。首先，有越来越多的国家愿意彼此倾听，相互交流，即使它们也想充耳不闻。各种观点流行，因此很难将不同观点拒之门外。

还有一点我想花一点时间说得清楚点：正如我前面所说，道德价值和伦理判断的问题不是通过科学能解决的问题，而且对此我也不知道该说什么。然而，我看到一种可能性。可能还存在其他可能性，但我只看到一种可能性。你看，我们需要某种机制，就像先做观察再来相信它那样的机制，用来作为道德价值的取舍方案。在伽利略时代，关于是什么让一个物体落下去曾引起很大争论，对介质、推力和拉力等存在各种各样的争论。伽利略的做法是，撇开各种争论不管，只确定物体是否下落，下落得有多快，只描述过程，由此赢得了所有人的共识。继续沿这个取得所有人共识的方向研究下去，尽可能不理会是什么机制在起作

用，用什么理论来做解释。然后慢慢地，随着经验的积累，你会发现这背后也许存在令人比较满意的其他理论。在科学发展的早期，激烈的争论不一而足，例如关于光的争论。牛顿通过一些实验证明，光束被分开，而且用棱镜分开的光束永远不会再次分离。他为什么要与胡克争辩呢？那是因为当时有一套光的理论。他不是争辩这种现象是否正确。胡克拿起棱镜一看，便明白这是事实。

所以，现在的问题是我们能否就道德问题做一些类似的事情（和类比工作）。对后果达成共识，在最终结果上达成一致，暂不问原因，不问我们是否应该做，我相信这不是完全不可能的。在基督教初期也存在争论，例如当时就争论过耶稣的身体是用类似于上帝的东西造的还是与上帝是同一种东西造的，译成希腊文后，这个问题变成了Homoiousions（本体相类论）和Homoousians（本体同一论）之间的争论。不要笑，有人正因此被伤害，有人声誉扫地，有人被杀，争辩的无非是相同还是相似。今天，我们应该从中汲取教训，在取得共识时别再争论为什么会取得共识的原因。

因此，我认为教皇约翰二十三世的通谕（我读过）是我们这个时代最重要的事件之一，是迈向未来的一大进步。我找不到比通谕里更好的字眼来表达我对道德信念、对人类的义务和责任、一个人对他人的义务和责任的理解。也许我不同意其中对一些思想的解释，譬如它们来自上帝，等等，我个人不认为是这样，我也不认为其中的一些思想是以前历届教皇思想的自然产物，透着自然和明智。我不认同，但我不会嘲笑它，也不会与它争辩。我同意教皇所代表的责任和义务就是人民的责任和义务。我认为这篇通谕也许是新的未来的一个起点，在这样一个未来里，只要我们的最终目的一致，只关注如何采取行动，相信同样的事情，我们就不必牢记着我们为什么会相信那些事情的理论。

非常感谢。我很开心。

理查德·费曼生平

1918年，理查德·费曼出生于纽约的布鲁克林，并于1942年在普林斯顿大学获得博士学位。尽管很年轻，但在第二次世界大战期间，他在洛斯阿拉莫斯的曼哈顿工程中却起到了重要作用。后来，他前后在康奈尔大学和加州理工学院任教。1965年，他因量子电动力学方面的工作，和朝永振一郎（Sinitiro Tomanaga）以及施温格（Julian Schwinger）共同荣获诺贝尔物理学奖。

费曼博士因为用量子电动力学理论成功解决了许多问题而荣获诺贝尔奖。他还为解释液氦的超流现象提出了一种数学理论。这之后，他与默里·盖尔曼（Murray Gell-Mann）一起，在β衰变等弱作用领域进行了奠基性的工作。在随后几年里，费曼在发展用于解释高能质子碰撞的部分子模型中起到了关键的作用。

除了这些成就，费曼博士还将新的计算技术和符号系统引入到物理学——这就是独一无二的费曼图，这个图，近代科学史上大概无出其右者，改变了对基本物理过程进行理论化和计算的方法。

费曼还是一位杰出的卓有成效的教育家。他一生获奖无数，但最让他引以为豪的是1972年荣获的奥斯特教学奖。初版于1963年的《费曼物理学讲义》被《科学美国人》杂志的书评家描述为“艰深但内容丰富、充满趣味的教科书，25年来，一直是教师指南和大一学生最好的入门教材。”为了增进普通百姓对物理学的了解，费曼博士写了《物理定律的本性》和《QED：光和物质的奇妙理论》。他还写作了一系列高级读物，这些著作已经成为研究人员和学生的经典参考书和教材。

理查德·费曼是一位富于建设性的知名人物。他在挑战者号调查委员会的工作举世闻名，尤其是他关于O型密封圈的低温敏感性的示范性实验，做得极其优雅，所需条件仅仅是一杯冰水。相比之下，他于20世纪60年代在加州课程委员会对教科书的平庸提出抗议的事则显得不那么为人所知。

对理查德·费曼的众多科学和教育方面的成就的罗列并不能充分展现他的本质。读过他最专业的学术著作的人都知道，费曼活泼而多才多艺的个性闪现在他的所有作品中。除了身为一名物理学家，他还经常修理无线电、修锁，他不仅是一位艺术家和舞蹈家，还是一名邦戈鼓鼓手，甚至会破译玛雅象形文字。他对世界永远充满好奇，他是一位模范的经验主义者。

1988年2月15日，理查德·费曼在洛杉矶与世长辞。

译后记

王文浩

2012年10月

本书原名叫**The Meaning of It All**（《一切的意义》），是费曼于1963年在华盛顿大学所做的三次演讲的实录。费曼以其特有的风格纵横捭阖，议题遍及科学与宗教的关系以及对政治对社会等现象的看法。尽管由于年代的原因，很多具体内容显得有点陈旧，但贯穿三篇演讲的主旨在今天依然有其现实意义。这就是科学的怀疑精神、做事的求实态度和区分真善的能力[9]。由于演讲中谈及很多政治，措辞不无商榷性，希望读者能从当时背景出发，正确理解作者的本意。另外，原书末附有词汇索引。由于本书浅显易懂，因此除个别名词术语涉及历史掌故以译注形式注出之外，译本不附索引，请见谅。

[1]即光速。1英里=1.609千米。——译注

[2]语出《圣经·马太福音》第5章第39节："不要与恶人作对。有人打你的右脸，连左脸也转过来由他打。"——译注

[3]费曼用苏俄（Russia）指称当时的苏联，下同——译注

[4]Beatification，宣福礼。罗马天主教里教皇昭告死者已得到真福的宣言式。此为死者获得封圣地位的第一步，自此便可开始接受信众的朝拜。——译注

[5]John Birch Society，美国的一个极右翼政治团体，创立于1958年，创始人为小罗伯特·韦尔奇。该组织政治上持传统保守思想，支持私有产权，强调法治和美国的主权原则，反对全球主义。该组织以约翰·伯奇命名是为了纪念1945年遭共产主义信仰者杀害的美国军事情报官约翰·伯奇。——译注，摘自 http://en.wikipedia.org/wiki/John_Birch_Society

[6]Dan Smoot Report，是美国联邦调查局特工和保守的政治活动家丹·斯穆特自20世纪50年代始到70年代初出版的一系列报告，内容主要是指控共产主义对美国政府和社会各界的渗透。——译注，摘自维基百科http://en.wikipedia.org/wiki/Dan_Smoot

[7]Mariner 2，水手二号探测器是美国于1962年8月27日发射的第二个水手系列探测器，该探测器成功掠过金星从而成为人类第一个成功接近其他行星的空间探测器。在经历了108天、2.9亿千米的飞行之后，水手二号于当年12月14日接近金星并拍摄下了红外及微波波段的图像。根据其发回的数据，科学家们估计金星上覆盖着厚达60千米的二氧化碳大气层，金星表面温度大概在425摄氏度。从1962年始到1973年止，美国宇航局先后共计发射了10个用于行星探测的水手系列探测器。——译注，摘自维基百科http://zh.wikipedia.org/zh-cn

[8]Ranger program，美国于20世纪60年代进行的系列探月工程项目，目的是通过无人太空飞船在月球表面着陆来得到月球表面图像。截至费曼演讲之时，前5次发射均以失败告终，不是发射失败，就是错过了月球或尚未工作即被撞毁。1964年以后的4次发射（从模组3的徘徊者6号到徘徊者9号）均告成功，在撞击损毁前向地球传回了高质量的电视画面。——译注，摘自维基百科 http://en.wikipedia.org/wiki/Ranger_program

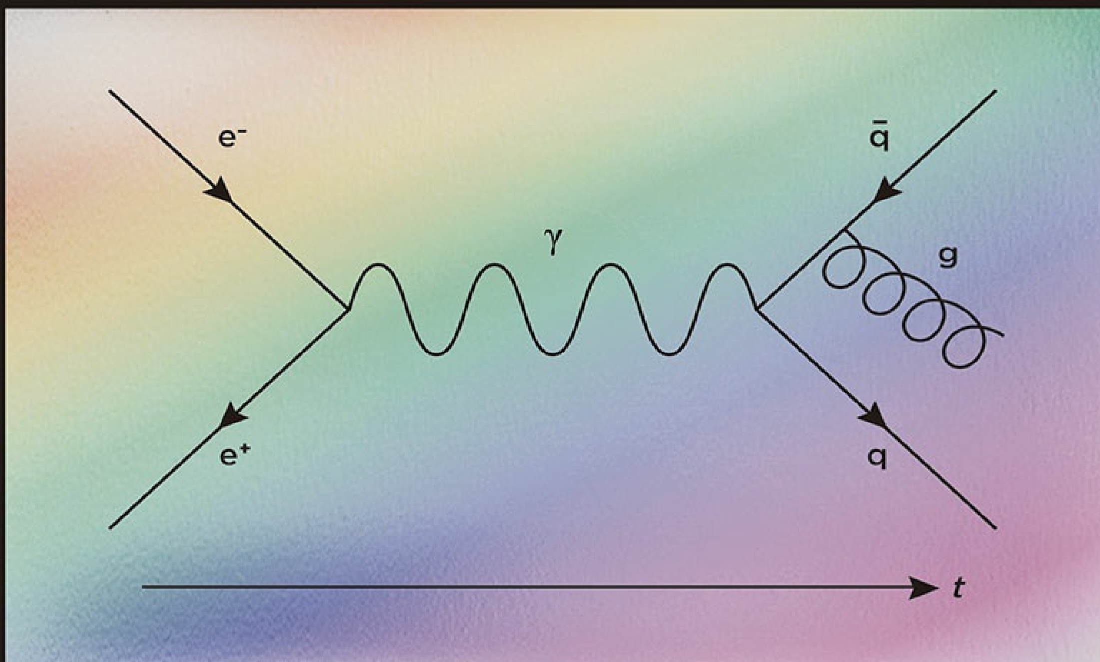
[9]费曼的另一书What Do You Care What Other People Think（《你干吗在乎别人怎么

想》，湖南科学技术出版社，2005年）中包括的一篇演讲《科学的价值》，主旨相同，可以进一步欣赏。——译注

QED

The Strange Theory of Light and Matter

光和物质的奇妙理论



Richard P. Feynman

[美] 理查德 · 费曼 著　徐一鸿 序　张钟静 译

湖南科学技术出版社

版权信息

QED：光和物质的奇妙理论

著者：[美]R·P·费曼

序：徐一鸿

译 者：张钟静

责任编辑：吴 炜 孙桂均

文字编辑：唐北灿

ISBN：9787535772442

湖南科学技术出版社
HUNAN SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

目　录

版权信息
序
讲座前言
编录者序
致谢
第1章 绪论
第2章 光子：光的粒子
第3章 电子和它们的相互作用
第4章 松散的结尾

序

徐一鸿（A.Zee）

2006年

我们是怎样终于认识了光，这个故事的演进简直就是一出充满了命运的纠结、曲折和逆转的扣人心弦的活剧。

光子，在所有基本粒子中是最可见的：试想在一个晴天，你置身于一个灰尘弥漫而开着一扇小窗的房间，盯着一大群小灰尘颗粒满屋子乱飞乱舞。牛顿很自然地认为，光是由粒子（“微粒”）流组成的。但他对此已经有一些怀疑；甚至就在17世纪，光的衍射也已经能够很容易地被观察到。最终，衍射和其他现象看来毫无疑问地表明光是一种电磁波。19世纪物理学的那座丰碑——麦克斯韦电磁学方程组——阐明了光完完全全就是一种波。接着，爱因斯坦出现了，他以光是小能量包（量子）之总和的假设解释了光电效应。这样，“光子”这个词和光的量子理论诞生了。（这里，我就不再离开主题去回顾爱因斯坦那著名的对量子力学的不待见，尽管他曾为量子力学的诞生助产过。）20世纪20～40年代那段时间，物理学家们彻底弄清楚了物质（“大量原子”）的量子行为。而光的量子行为和光与电子的相互作用是更大的难题，困扰着像保罗·狄拉克和恩里科·费米这样最棒的、最聪明的著名人物。物理学不得不悲喜交加地等待三位年轻人——费曼、施温格和朝永振一郎，因为根据他们在第二次世界大战时的经验，这种情况很可能会产生出量子电动力学（亦称QED）正确的系统阐明。

理查德·费曼（1918—1988）不仅是一位杰出的物理学家，他还是个非同寻常的人物，那极其张扬的个性在理论物理学界可以说是空前的，此后也还没有同类。理论物理学家们偶尔也消磨一点悠闲的时光来比较费曼和施温格的贡献，他们俩都是来自纽约的犹太好男孩，刚好又几乎是同龄。这些比较没什么意义，也没什么目的；不过有一点倒是事实，即朱里安·施温格是个羞涩的腼腆谦和的人（不过藏在他冷淡外表后面的是一副很温暖很善意的好心肠）；而迪克·费曼（Dick是费曼的昵称——译注）则性格极其外向，天生一个传奇人物的坯子。他的手鼓，他的秀女郎，他的由大批崇拜者热情培有起来的相当有文化品位的其他一些标志性的偶像特征形象，使得费曼毫无疑问地成为仅次于爱因斯坦的最爱爱戴的理论物理学家。

才华横溢的苏俄物理学家列夫·朗道曾为理论物理学家的高下排行制作了一个著名的对数标度尺，爱因斯坦高居榜首。大家也都知道，朗道在系统阐释相变理论之后把他自己提升了半步。我则有我自己的标度尺——作为一个消遣吧，把我所知道的理论物理学家或按容貌风度，或按精神气质做了个排序。哦，这是真的：很多理论物理学家单调乏味得要命，令人生厌得就像刷碗水，在我的这个对数标度尺上他们接近于负无穷。我把薛定谔（关于他，我们后面还要谈到）标在最高点，费曼无悬念地紧随其后。我不能告诉你我把自己置于这个标度尺之何处，但可以说在可供我支配运用的天资和能力范围内，我确实尽最大可能地去寻开心找乐趣。

但是，费曼是何等有趣之人！在我开始工作之初，费曼约我和他一起去夜总会。费曼的一个同事告诉我，这个邀请表明费曼是很认真地把我当作一个物理学家看待了，但当我热切地告诉他我关于杨-米尔斯理论的想法时，他却只想听我对于台上正在跳舞的女孩儿的大腿有什么评论。当然，根据英雄崇拜心理学，没有人会对一个玩手鼓、喜欢秀女郎的物理学家汉子发出两种不同的声音，给出两个不一致的看法。那么，

好！我的衡量物理学家的标度确确实实就是：他有多么有趣好玩乘以他的天赋才华——朗道的标度尺有他好玩的成分在里面，如爱因斯坦的股票下跌而他朗道的股票上涨（朗道很喜欢开点玩笑搞点恶作剧，直到他被克格勃给抓起来）。

现在，距那次夜总会共赏节目大约30年之后，普林斯顿大学出版社的Ingrid Gnerlich竟要求我为费曼的名著《QED：光和物质的奇妙理论》2006年版写个引言，这让我感到非常荣幸。首先我要坦言：此前我从未读过《QED》。在这本书1985年出版时，我刚刚完成我的第一本物理学普及读物Fearful Symmetry（《可怕的对称》，有中文译本——译注）我多多少少认同这样一个策略，即不读他人写的物理学普及书，以免我的风格爱到他们的影响。这样，我以清新的眼光和深深赞赏的态度读了Ingrid寄来的《QED》。我立刻就喜欢上了这本书，边读边记下来我的想法和评价。

早先没读这本书真是个错误，因为它不是通常意义上的物理学普及读物。1984年斯蒂芬·温伯格曾建议我写一本通俗物理书，并安排我和他的编辑在纽约见面，他还给了我一个有用的忠告。他说，很多写这类书的物理学家都禁不住为图对有关的一切做出解释；而外行们想要的不过是一个理解的假象，他们只想抓住几个似是而非全无意义的词语，好在鸡尾酒会上到处播撒以显摆自己懂行而已。

我想温伯格这个话虽然有点尖刻，但大体上是对的。大家都见证了霍金的《时间简史》的巨大成功（依我上面讲的策略，这本书我也一直没有读）。我在加州大学过去的同事、现在在牛津大学执教的一位卓越的物理学家，一次他给我看《时间简史》那本书里的一句话。我们俩一起努力咂摸这句话，想揣摩出个讲得通的意思来，却到底还是不知所云。与这种情况相比照，我想让所有感到困惑的读者放心，费曼这本书虽然看起来异乎寻常到了极致，但其中所有句子的意思都清楚明白。不

过对每句话你都必须认真仔细地琢磨，努力弄懂费曼在说什么，再往下读。否则，我保证你会绝望地败下阵来。此书讲的是奇特的、与众大不相同的物理，而不是做一般的陈述。毕竟，书名已经做出了承诺，给读者讲一个“奇妙的理论”。

费曼就是费曼！他写书所选择的路子与温伯格给我的忠告（顺便说一句，我也并没完全按他的建议去做；见下面我关于群论的说明）完全相反。在书的“致谢”部分费曼谴责有的物理学通俗读物“看起来相当简洁，只是由于它们所写的东西与它们声称要写的是两码事，它们对于声称在写的东西作了相当大的歪曲”。与之不同，费曼向自己提出了挑战：为外行读者不走样地、不“对真理作任何歪曲”地讲解QED。这样，你们就不应该把这本书当成标准的物理学普及书。它也不是教科书。它是一个珍稀的混血儿。

为了解释这是哪种类型的书，我将运用费曼自己做的（我只稍加修改）类比。根据费曼的说法，要学习QED，你有两个选择：或者去完成7年的物理专业教有，或者读这本书。（他这个7年的数字可能有点夸大；如今一个聪明的中学毕业生在适当的指导下用不了7年就能做到。）其实，也不是真让你去做个什么抉择，对吧？当然你应该选择读这本书！即使你像我所建议的那样，把所有的句子都仔细抠明白了，也花不了你7周的时间，更不用说7年了。

那么，这两种选择不同在哪里呢？现在来看我的版本的类比：一个玛雅高级神父宣布，他收些学费就可以教你（玛雅社会里的一个普通人，叫Joe或Jane）如何将两数相乘（如564乘以263）。他让你记住九九表，然后告诉你看这两个数最右边你须把它们先乘起来的两个数字，即4和3，他再让你说在九九表的第4行第3列的数是什么。你说12。然后，你要学到的是，你应该写下2并且“进”1（不管它意味着什么）。接着，你要说出第6行第3列的数，即18。他会告诉你将此数加上你刚刚进位的

那个数。当然，你还必须再花一年的时间来学怎么“加”。好了，你明白这意思了。这就是你在一所声名显赫的大学里交了学费之后所学到的东西。

然而，一位叫费曼的聪明人向你建议说：“嘘……如果你会数数儿，你不必非得学关于进位和加法这套高难度的专业知识。你要做的就是弄来564个罐子，然后往每个罐子里放入263个小卵石。最后，你把所有这些小卵石倒出来，堆成一大堆，数一数有多少，那就是答案。”

所以你看，费曼不仅教你怎样做乘法，他还让你深刻地理解那些高级神父和他们的学生们（这些学生很快会从知名大学获得博士学位）究竟在做什么！但另外一方面，如果你学费曼的方式做乘法，你就不能申请会计师的工作。如果你的老板要你整天作大数乘法运算，你就会给累死，而进了高等神父学院的学生们将会让你灰头土脸蒙羞爱辱。

我已经写过一本教科书（Quantum Field Theory in Nutshell）《果壳里的量子场论》，下称《果壳》）和两本物理学普及读物（包括《可伯的对称》，下称《可伯的》），所以我觉得我很有资格就你们关心的要读什么样的书的问题说几句话。（顺便说一下，《QED》这本书的出版者普林斯顿大学出版社出版了《果壳》和《可伯的》两书。）

现在我把这个引言的读者分为三类：（1）爱这本书的激励想进一步学习并掌握QED的学生；（2）对QED感到好奇的聪明的外行；（3）像我本人这样的专业物理学家。

如果你属于第一类，你将会令人难以置信地爱到这本书的鼓舞、激励而进发出巨大的热情，想要即刻开始阅读一本量子场论的教科书（可以很有理由地说《果壳》就是这样的一本教科书）。顺便说一下，如今QED被认为是量子场论的一个相对简单的例子。在写《果壳》的时候我坚信，一个确实聪明的本科生是会很接近于学懂了量子场论的，而费曼

肯定会同意我这个想法。

但是，正如在类比中所表明的，光阅读这本书可无论如何不会使你变为一名教授的。你必须还要学习费曼所谓的两数相乘的“复杂棘手、需要技巧，但很有效的方法”。尽管费曼宣布，他很想从零开始解释一切，但他在行文中还是明显地表现出吃力。比如在第88页和图56中，仅仅提了一下P（A至B）取决于间隔I，这让人莫名其妙，但你只能接爱他这句话。而在《果壳》中，这是被推导出来的。在第119页注3中讲的E（A至B）也是这样。

如果你属于第二类读者，坚持读下去，你会爱益匪浅，相信我，别着急贪多！即使你只读完前两章，你也会已经学到了很多东西。为什么这本书这么难读？我们可以再回到那个玛雅人类比：这就好像你正在用罐子和小卵石教某人学习乘法，但他甚至连罐子和小卵石是什么都不知道。费曼翻来覆去地告诉你每个光子带一个小箭头，告诉你怎么把这些小箭头加起来和用伸缩、旋转的方法把它们乘起来。而这真是让人非常困惑、感到糊涂的；你的注意力不能有一点点走神。附带说一下，这些小箭头其实就是复数（如第73页注释4所解释）；如果你已经了解了复数（即罐子和小卵石），讨论就可能比较清楚一点而不那么乱。或者，也许你是温伯格所描述的满足于“似乎是理解了某事物”这种假象的那种典型的外行读者中的一员，你就可能满足于标准的物理普及读本。再次用玛雅人类比：一本标准的物理普及读本既不会拿九九表和进位，也不会拿罐子和小卵石去烦劳你。它可能就简单地说一句：当给定了两个数，高级神父有办法得出另一个数。事实上，通俗物理书籍的编辑们坚决要求作者们按这种方式去写作，目的是不要吓跑了掏钱买书的大众（下面会更多地谈到这一点）。

最后，如果你是第三类读者，那你真可说是来享爱一番东道主的款待。虽然我是个搞量子场论的理论物理学家而且明了费曼正在做的是什

么，但我还是从看到大家都熟悉的现象以这样一种令人眩惑的原创性的为大家所不熟悉的方式给解释出来，而获得巨大的快乐。我欣赏费曼向我解释光为什么走直线，或者一个聚焦透镜实际是怎么工作的（第57页："对自然界耍一个'花招'"，让沿某些路径的光慢下来，以使所有的小箭头都转同一大小的角度）。

嘘……我来告诉你，费曼为什么与众多物理教授不同。你去请一位物理教授解释，光从一块玻璃板反射时，为什么只考虑前后两个表面的反射就足够了。很少有人知道答案（见第107页）。这不是因为物理教授们缺乏知识，而是因为他们就从来没有提出过这个问题。他们只不过是学习Jackson的标准教科书，通过考试，按部就班地升级。费曼从小就不是省油的灯。他永远在问为什么？为什么？为什么？

有三类读者（励志的学生、聪明的外行、专业的教授），相应地，也有三类物理书（并不与三类读者一一对应）：教科书、通俗读物和我称之为"超难普及物理读本"。这本书就是这第三类书的珍稀样本，在某种意义上这第三类夹在教科书和通俗读物两大类之间。为什么它在三类中占的份额如此之小？这是因为"超难普及物理读本"把出版者吓个半死。霍金有个广为流传的说法：通俗书中每一个公式都会使该书的销量减少一半。虽然我并不否认这个话确实道出了一般的实情，但我希望出版商还是别这么轻易地给吓着。问题主要并不在于公式的数量有多少，而在于书中是否蕴含了对难于掌握的概念做出的真诚可信且值得称赞的讲解。在写《可怕的》一书时，我想，为了讨论现代物理学中的对称，讲解群论是必要的。我想尽为使这些概念能为大家所接爱，为此，我用在上面写有字母的方形和圆形的小代币筹码似的东西作为教具来演示。但编辑迫使我一次再次不断地冲淡这些内容，直到实际上啥也没留下为止。然后，把刷掉的许多内容归到附录中。费曼可不同，他神通广大，不是所有的物理书写作者都有他那么大的本事，那么大的影响力。

让我返回到费曼的书，讲讲它的难点。这本书的很多读者都会学一些量子物理。这样，他们理所当然地会，比如说，对这本书没有谈到波函数感到不解，而波函数在大量其他量子物理通俗论述中都占有相当突出的地位。量子物理是足够让人困惑的——正如一句俏皮话所说，“有量子物理相伴，谁还需要迷幻药？”也许应该让读者不要在困惑中再为这些不解而更加挠头，所以我来解释一下。

埃尔文·薛定谔和维尔纳·海森伯，几乎同时但相互独立地创立了量子力学。例如，为了描述电子的运动，薛定谔引入了波函数，它服从一个现在叫薛定谔方程的偏微分方程，而海森伯则让他周围的人都莫名其妙地大谈算子——作用在他称之为“量子态”上的算子。他还令人瞩目地阐明了不确定性原理，这个原理是说，一个人若更精确一些地测定了，比如说，一个量子粒子的位置，那么他关于这个粒子的动量的知识就会更加不确定一些，反之亦然。

由这两个人建立的理论形式显然大不相同。但是，对任何一个物理过程他们所得到的最终结果都是一致的。后来表明这两个理论形式是完全等价的。如今，对一个合格的本科毕业生，我们都可以指望他从一个理论形式熟练地转入另一个形式，他采用哪种形式取决于他手头所要处理的问题用哪一个更方便。

六年以后，1932年，保罗·狄拉克提出了——以某种程度的原生态面貌——第三个理论形式。看来狄拉克的思想多半是给遣忘了，直到1941年才又被重新提起，这时费曼发展了并详尽阐述了这个理论形式，即现在大家所知的路径积分形式或对历史求和形式。（物理学家们有时很想知道费曼是不是在完全不知道狄拉克工作的情况下发明了这个理论形式。物理学史家现已确认，答案是：否。在普林斯顿一个小酒馆的派对上，一位名叫Herbert　Jehel的物理访问学者将狄拉克的这个想法告诉了费曼，而就在第二天费曼在可敬可畏的H.Jehel面前完善了这个理论形

式。见《现代物理学评论》Reviews of Modern Physics中S.Schweber的论文。

费曼在这本小书里努力讲解的就是这个理论形式。例如，在第38页，当费曼把所有箭头加起来时，他实际上是在把与光子从点S到达点P所有可能的路径相关的振幅进行积分（当然这是求和的微积分学专业术语），于是名之为“路径积分”。另一个名字“对历史求和”也很容易理解。如果把量子物理的规则关联到宏观的人类尺度的事物，那么历史事件的所有其他选择（如拿破仑在滑铁卢大获全胜，或肯眉迪避开了暗杀者的子弹）都是有可能发生的，而每一个历史事件都会有一个振幅与之相关联，我们将把这些振幅都加起来（即把所有那些箭头都加起来）。

原来——可被看做是终态函数的路径积分满足薛定谔方程。这个路径积分实质上就是波函数。这样，路径积分理论形式就与薛定谔和海森伯理论形式完全等价。事实上，一本明白无误地讲清了这个等价性的教科书就是由费曼和Hibbs写的。（确实，费曼也写教科书——你知道，那些令人生厌的书实际上就是告诉你如何高效率地做例如“进位”和“加法”这类事情。对，还有，你也会正确地猜测出费曼的教科书通常主要都是由他的合作者写的。）

由于狄拉克-费曼路径积分形式与海森伯的形式完全等价，那它就相当肯定地包含了不确定性原理。所以，费曼在第73页上兴高采烈地“泯没”不确定性原理就显得稍夸张了些。至少，人们可以从语义学的角度提出问题：他所说的不确定性原理就不再“需要”了，是什么意思？其实，真正的问题是它是否还有用。

理论物理学家是众所周知的很讲求实用的一群人。哪个方法最简便，他们就会采取哪个方法。一点儿没有数学家坚持严格和证明的那种矫情。无论什么方法，只要能用就行，管他呢！

如果是这样的工作态度，那你会问，这三种理论形式——薛定谔、海森伯和狄拉克-费曼，哪一种最简便？回答是：这要取决于所要处理的问题是什么。比如在处理原子问题时，正如大师自己在第96页所承认的，“这些原子的（费曼）图中所包含的直线和波纹线太多，以致完全乱成一团”。薛定谔形式则绝对简便多了，那物理学家就采用薛定谔这个方法：事实上，对于大量“实际”问题，几乎不涉及路径积分形式，在某些情况下则完全不可能运用路径积分。一次，我就这类显然不可能用路径积分的一个例子向费曼发问，他没有回答我。但是，初学的学生运用薛定谔形式很轻松地解决了这些貌似不可能解决的问题。

这样，哪个理论形式最好，这确实是取决于要解决的物理问题是什么，一个领域的物理学家——比如，搞原子物理的——可能喜欢一种理论形式，而另一个领域的——比如，搞高能物理的——可能偏爱另一个理论形式。可以合理地推想，当一个领域展开和发展起来，甚至有可能出现这样的情况，即一个理论形式逐渐显现出比另一个更为方便。

作为一个具体的例子，我来着重谈谈我所爱业的领域，即高能物理，或称粒子物理，这也是费曼的主要领域。有趣的是，在粒子物理中，路径积分形式在三种形式的赛马中很长时间内都是远远落在后面的第三名。（顺便说上一句，没有什么东西表明只可能有这三种理论形式。某个聪明的青年人很可能研究出来第四种！）事实上，对于很多问题的处理，路径积分形式使用起来很不顺手，以至于直到20世纪60年代末，它还陷于默默无闻的状态。60年代末之前，量子场论的教学几乎完全都是采用正则形式，它只不过是对海森伯形式的另一个说法，但正是“正则”这个词透露出这个形式得到了最高的尊重。举我恰好熟知的一段往事作为例证。在我求学期间，从没有听说过路径积分，即使我的本科和研究生上的是东海岸相当知名的两所大学。[我之所以提到东海岸是因为，就我所知，在涪杉矾东部的飞地上（指加州理工学院吧！——译注），路径积分可能一直在作为重点来讲解。]直到我在普林斯顿高

等研究院做博士后时，我和我的很多同事才通过一篇俄文论文第一次注意到路径积分。甚至就在那时，一些权威人物还是表达了他们对这种形式的质疑。

令人啼笑皆非的是，正是费曼本人要对这种可悲可叹的事态负责。问题出在学生们很轻易地学会了费曼发明的“好玩的小示意图”（如第113页的图）。施温格有一次不无抱怨地说“费曼把量子力学搞乱了”，他的意思是任何一位能记得几个“费曼规则”的蠢材都可以自称是懂得场论的理论家，并以此为可靠基础构建自己的学术生涯。Heavens to Betsy（这是19世纪的说法，早已成为罕用语，有“天哪，真是不可思议”之意。——译者），代代都有学了费曼图而不懂场论的人，至今还依然有这样的大学教授在到处逛来逛去。

但是，几乎是让人难以置信的——而且这恐怕是费曼魅力之部分所在，这种魅为使得他的学术生涯充满了几乎是魔幻般的氛围，在20世纪70年代初，大体上是由我上面刚刚提到的那篇俄文论文开始，狄拉克-费曼积分山呼海啸般地卷土重来。它很快就成为促进量子场论向前发展的占主导地位的方法。

我刚刚提到的这场“心智较量”发生在采用费曼图的一伙人和采用费曼路径积分的较年轻的一伙人之间，使费曼成为非凡物理学家的正是这场较量。我得赶紧补充一句，所谓“较量”这个词稍微重了点，没有什么东西限制物理学家只准采用这个方法而不准采用那个方法。我就两者都用。

我相信，我最近出版的教科书《果壳》是从最开始就采用路径积分形式的为数不多的几本书之一，相形之下，较老的教科书则偏爱正则形式。我将第二章第一节的标题立为“教授的噩梦：一个聪明的家伙在课堂上”。根据关于费曼的那些全部是虚构的传奇的总精神，我杜撰了一个聪明调皮学生的故事，并给他起名叫费曼。路径积分形式是通过参禅

式冥想的过程得到的——即先引入无限多的屏板，再在每个屏板上钻无数个洞，直到屏板全无为止。但对照玛雅神父的类比，在这个费曼式的推想之后，我还必须得教学生如何进行实际的计算（“进位”和“加法”）。为此，我得放下这个虚构的费曼，而详尽地完成路径积分的狄拉克-费曼推导。这要引入诸如“插入1（1是作为对左矢和右矢的完全集的求和）”这样的技巧。技巧是你通过阅读费曼的书所得不到的。

顺便讲一讲，也许你想知道，符号左矢“＜”和右矢“＞”与虚构的迪克·费曼没有任何关系。它们是被沉稳寡言的保罗·狄拉克当作一个括号的左半边和右半边引进来的。狄拉克本人是个传奇。有一次，我和他还有别人一起吃晚饭，自始至终他没说几个字。

费曼在他的书中插一些话，有点调皮地挖苦其他物理学家，几次引起我的窃笑。例如，在第131页，他打趣地称盖尔曼——一位杰出的物理学家，费曼在加州理工学院亲密的比肩同道——是“伟大的创造者”。他有点一反他自己精心培有的聪明人的形象，在149页的注4很懊恼物理学家们掌握古希腊知识的水准普遍下降，虽然他完全知道盖尔曼不仅创造了“胶子”这个新词，还是个颇有造诣的语言学家。

我也还很喜欢费曼那些自嘲的言辞，这也是他的形象很重要的部分。当费曼说到“有个愚蠢的物理学家1983年在加州大学涪杉矶分校上课时……”，一些读者可能不知道他这是在说他自己！虽然这确实只是费曼形象的一个侧面，但我发现，在我们这个理论物理学家圈子变得越来越等级森严、傲慢自负的时代，它是一股清新的风。我所了解的费曼（我必须强调我并不是非常了解他）肯定不喜欢这个趋势。无论怎么说，毕竟，有一次他力图辞去国家科学院院士职务，还引起一阵轩然大波。

现在返回来谈谈上面所描述的我想象中可能大体分为三类的读者。我想说的是，第二、三类读者会非常喜欢非常欣赏这本书，但此书的真

正本意是写给课堂上的学生的。如果你有志成为理论物理学家，我极力主张，以你藏于心智中的如饥似渴的求知欲，把这本书大快朵颐地吃起来，咽下去，然后就继续从量子场论教科书中学习如何实际地“进位”。

你肯定能够掌握量子场论。就记住费曼所说的话吧：“一个笨人能理解的东西，其他人也能理解。”他指的是他自己，还有你！

讲座前言

莱昂纳德·毛特纳

（Leonard Mautner）

涪杉矶，加利福眉亚

1983年5月

这个“阿莉克斯·毛特纳纪念讲座”（Alix G.Mautner Memorial Lectures）是为了纪念我的妻子阿莉克斯而设立的，她于1982年逝世。阿莉克斯的专业是英国文学，但她在很长时期里对许多科学领域一直保持经久不衰的兴趣。因此，以她的名义设立一个基金会，资助这样一个每年一次的系列讲座，向聪明而有兴趣的听众传播科学精神和成就，看来是很合适的。

我很高兴理查德·费曼同意由他开始这第一个系列讲座。我同他的友谊可以追溯到五十五年前，在纽约的法涪克维（Far Rockaway）我们一起度过的童年时代。理查德认识阿莉克斯有二十二年了，而且她总是请求他想办法通俗地讲解“小粒子”物理，使她和其他非物理学家能够理解。

此外，我愿意在此向所有那些对阿莉克斯·毛特纳基金会做出贡献而使这些讲座得以开设的人表示感谢。

编录者序

拉尔夫·莱顿（Ralph Leighton）

帕萨迪纳，加利福眉亚

1985年2月

理查德·费曼以他看待世界的独特方式在物理学界成为传奇式的人物：他对任何东西都不想当然地认可，总是独自彻底地考虑和解决问题，他经常能对自然界的行为得到一种新颖而深刻的理解——而且以令人良目一新的简洁优美的方式表达出来。

费曼为学生讲解物理学的热情也是众所周知的。他拒绝了无数颇有声望的学会和组织的邀请，但对路过他办公室的学生请他去某个地方中学的物理协会讲点什么，他却着迷似的有求必应。

这本书是一个冒险——就我们所知，还从来没有人试着冒这种险。它以直截了当、真诚可信的方式对非专业的听众讲解了一个相当困难的课题——量子电动力学（quantum electrodynamics）。它的设计是为使有兴趣的读者欣赏一种思维方式，就是物理学家在要解释自然界如何运行时所采取的思维方式。

如果你准备学习物理学（或者正在学呢），那么这本书中没有一点内容是你最终要纠正或抛弃的：它的讲述是个完整的大纲，其中每个细节都是精确的，你可以按照这个大纲——无需任何修改——进行更深入

的学习。如果你已经学习过物理学，本书则向你揭示，你过去在做所有那些复杂计算的时候，到底是在做什么！

理查德·费曼还是个孩子的时候，爱过一本书的启迪而开始学习微积分，这本书的开头语是：“一个笨人会做的事，其他人也会做。”费曼也想把同样的话和他的这本书一起奉献给读者：“一个笨人能理解的东西，其他人也能理解。”

致谢

这本书号称是我在加利福眉亚州立大学涪杉矾分校主持量子电动力学讲座时的记录，由我的好朋友拉尔夫·莱顿整理、编辑。但实际上，本书稿对原讲座做了相当大的修改。莱顿先生在教学和写作方面的经验，对于我们想试着通过本书把物理学的核心内容介绍给范围更广的读者，起了相当大的作用。

许多“颇爱欢迎”的科学普及之类的作品之所以看起来相当简洁，只是由于它们所写的东西与它们声称要写的是两码事，它们对于声称在写的东西做了相当大的歪曲。但是对我们论题所怀的敬意不允许我们也这样干。经过许许多多个小时的讨论，我们已经尽力做到了最大限度的明确、简洁，同时避免任何对真理的歪曲。

第1章　绪论

阿莉克斯·毛特纳对物理学很好奇，常常要我给她讲解。我想，这事我能应付得来，正如在加州理工学院有一群学生每星期四到我这里来花一个小时讨论物理问题我能应付得来一样。可结果，我最感兴趣的这部分却没成功：我们老是在讨论量子力学那些古怪的概念时给窘倒了。我告诉阿莉克斯，我不能只花一个小时或一个晚上把这些概念给她解释清楚——这需要花很长时间，但我答应她，总有一天我会准备一个系列讲座来讲解这个课题。

我准备了几讲，然后去新西兰试试如何——因为新西兰反正远得很，即使讲砸锅了，也没什么了不起。噢，新西兰人认为讲得还不错，所以我猜这讲座还可以——至少对新西兰是这样。现在我在这里讲的就确实是我为阿莉克斯准备的讲座，但很遗憾，现在，我不能直接讲给她听了。

我愿意给大家谈的是物理学中已经为人所知的部分，而不是未知的部分。人们总是要求我们讲解“统一”——把这个那个理论统一起来这一类工作的最新进展，而不给我们机会向他们讲解我们已经掌握得很好的一个个理论。他们总是想了解我们尚不知道的东西。所以，与其用一些半生不熟、我们尚且一知半解的理论把你们弄得晕头转向，还不如像我所愿意的那样给你们讲一讲一个我们已经分析得通透至微而彻底掌握了的课题。我喜欢物理学的这个领域，而且认为它是绝妙的——那就是量子电动力学，或简而言之，QED。

我这几讲的目的是尽可能准确地描述关于光和物质的奇妙理论——或者更明确地说，是关于光与电子的相互作用。要讲完我想讲的所有内

容，需要很长的时间。好在我们分四次讲，我会好好利用这些时间，把所有内容都弄清楚。

物理学在过往的历史中，尝试将众多现象综合为很少几个理论。例如，在早期，人们观察到运动的现象和热的现象，还有声、光和重力的现象。但在牛顿（Sir Isaac Newton）解释了运动的规律以后，人们很快发现，这些过去看起来毫不相干的现象，其中有些其实是同一事物的侧面。例如，声音现象完全可以理解为空气中原子的运动。所以声音就不再被看作是运动之外的什么事了。人们还发现，从运动规律出发，热现象也是容易理解的。用这个方式，一大堆物理学理论被综合成一个简明易懂的理论。不过万有引力理论除外，它不能用运动规律来理解，甚至在今天它也还是与其他理论毫无联系。迄今，万有引力仍不是借助其他现象所能理解的。

在把运动、声和热这几种现象综合起来之后，人们又发现了我们称之为电现象和磁现象的几种现象。1873年，这些现象同光和光学现象被麦克斯韦（James Clerk Maxwell）的一个理论综合在一起。麦克斯韦提出光就是电磁波。所以在这个阶段，有运动定律、电和磁的定律和万有引力定律。

1900年前后，一种解释物质到底是什么的理论出现了。它被称为物质的电子理论——认为原子中有很小的带电粒子。这个理论逐渐演化发展，认为原子中有一个重核，并有电子绕它旋转。

人们想借助力学定律，就是说想仿照牛顿利用运动定律探究出地球如何绕日运行的办法来理解电子绕核旋转，这个努力是彻底失败了：它做的所有预言都是错的。（附带说一句，相对论大致也是在这段时间里提出来的，大家都把它理解成是物理学中的一场革命。但与牛顿运动定律不能用于原子这个发现比起来，相对论只是个小修正。）建立另一个体系取代牛顿定律花费了很长时间，因为原子水平上的现象是很奇怪

的。要领悟在原子水平上发生的事情，人们必须抛弃常识。最后，在1926年，用来解释电子在物质中的“新型行为”的一种“非常识性”理论建立起来了。这个理论看来好像荒诞不经，但事实上当然绝非如此：它就叫作量子力学。“量子”这个词是指自然界那个违背常识的特别的一面。我准备和你们谈的，就是关于这一面的问题。

量子力学的理论还解释了所有各类现象的细节，例如为什么一个氧原子和两个氢原子合成水，等等。这样，量子力学就也为化学提供了背景理论。所以说基础的理论化学实际上就是物理学。

量子力学由于能够解释物质所有的化学性质和其他各种性质而获得极大的成功。但关于光和物质的相互作用还是存在问题。就是说必须将麦克斯韦的电和磁的理论加以改造，使之与已经建立起来的新的量子力学相适应。这样，在1929年，一个新的理论——关于光和物质相互作用的量子理论——终于由一些物理学家建立起来了。它的名字倒是怪可怕的，叫作“量子电动力学”。

但是这个理论曾有过让人头疼的麻烦。如果你粗略地进行计算，这理论能给你相当合乎逻辑的结果。但要是想进行更精确的计算，你会发现修正值（你原以为计算越精确，修正值会越小吧！例如一系列的修正值中，下一个会比上一个小）事实上很大——竟然是无穷大！原来，这个理论不允许你把任何一个量计算得超过一定的精度。

顺便说一下，刚才我给你们概括讲的那些，我把它称为“物理学家的物理学史”，这种物理学史从来是不正确的。我刚才给你们讲的是物理学家给他们的学生讲的形式化的神话故事一类的东西，学生又把这些讲给他们的学生。我刚才讲的这些不一定同真实的历史发展有什么联系，说真的，我并不大知道真实的历史过程到底是怎样发生的。

无论如何，我还是要接着讲这段“历史”。P.狄拉克（Paul Dirac）利

用相对论建立了电子的相对论——不过他没有把电子与光相互作用的影响考虑在内。狄拉克的理论是说，电子有一个小的磁矩——就像是一个小磁体的力那类东西，它的强度正好为某种单位制的1个单位。后来，大约到了1948年，实验发现实际值应该是接近于1.00118个单位（小数点后最后一位数的不定度约为3）。当然，电子要与光相互作用，这是众所周知的，所以有某个小修正值正在意料之中。人们还期望这个修正值从量子电动力学这个新理论的观点看来也是可以理解的。但计算的结果，这个修正值不是1.00118，而是无穷大——经验告诉我们，这结果是错的！

好了，在量子电动力学中如何进行计算这个问题被J·施温格（Julian Schwinger）、朝永振一郎（Sinitiro Tomonaga）和我本人于1948年前后解决了。施温格是第一个使用一种新的“壳层游戏”计算这个修正值的。他算出的理论值是1.00116，与实验值已经相当接近，这说明我们的思路是对的。最后，我们终于有了可以用来进行计算的关于电和磁的量子理论了。我打算给你们讲的就是这个理论。

量子电动力学的理论到现在已经经爱了五十多年的检验，检验的条件越来越广泛、检验的精度越来越高。现在，我可以骄傲地说，在实验和理论之间，不存在重大分歧。

这里我给你们几个最近得到的数据，让你们领略一下这个理论如何备爱艰辛地通过检验：狄拉克数的实验值是1.00115965221（小数点后最后一位数的不定度大约为4），而理论值为1.00115965246（不定度约为实验误差的五倍）。为了使你对这个精确度有个概念，我给你打个比方：如果你在测量涪杉矶到纽约的距离时精确到了这个程度，那你就是精确到了人的一根头发那么细。在过去的五十多年里，量子电动力学就是这样从理论和实验两个方面精巧灵敏地经爱着考验。顺便说一句，我刚才只是举了一个数据给你们看。实际上量子电动力学中，其他东西的

测定值也差不多是这样精确，它们与理论值同样符合得相当好。这个理论的内容一直在非常大的尺度范围内——从地球大小的一百倍到原子核大小的百分之——一经爱着考验。我介绍这些数据是为了吓唬你们，迫使你们相信这个理论大概不会太差。下面，我会给你们讲这些计算是怎么做的。

对于量子电动力学所描述的现象，其范围之宽广，我想再一次加深你们的印象。反过来说容易点，让我反着说：它能描述物理世界的所有现象，只是万有引力作用——那种把你们束博在椅子上的作用（实际上，现在把你们束博在椅子上的是万有引力再加上你们的礼貌，我想）——和放射性现象（它们涉及核的能级跃迁）除外。这样，如果我们把万有引力和放射性（更恰当地说，是核物理）除开不算，剩下来的是什么呢？汽车中汽油的燃烧、发泡起沫、盐或铜的硬度、钢的刚性。事实上，生物学家正在尽其所能地借助化学对生命做出解释，而正如我已经说过的，化学背后的理论就是量子电动力学。

我必须澄清一件事：在我说物理世界的所有现象都可以用这个理论解释时，我们并不真的知道是不是这样。我们所熟悉的大部分现象都涉及极大量的电子，要我们这贫乏可怜的头脑去跟踪如此复杂的事物，那可太难了。在这种情况下，我们可以运用这个理论粗略地估算出什么情况应该发生，并粗略地估算出在这种复杂的环境中，真真正正发生的到底是什么。但是，如果在实验室里安排一个在简单的环境下只涉及仅仅几个电子的实验，我们就可以很精确地计算出什么情况可能会发生，而且也可以很精确地把它测量出来。我们无论何时做这种实验，量子电动力学的理论总是表现得很好。

我们物理学家老是在检验，查看这个理论是不是有什么毛病。这种查看是一种游戏，因为如果真有什么毛病，那就很有意思了！但到目前，我们还没发现量子电动力学有什么问题。所以我可以说，它是物理

学的珍宝——我们最骄傲的财富。

量子电动力学还是那些试图解释原子核现象的新理论的原型。如果你想把物理世界设想成一个舞台，那么演员可不只是原子核外的电子，还要有核内的夸克、胶子等等——数十种基本粒子。虽然这些“演员”的亮相一个与另一个大不相同，但它们的表演却都依照一定的风格——奇怪而特别，这就是“量子”风格。在这个系列讲座的最后，我要讲一点关于核粒子的内容。而在此之前的大量的时间，我只打算讲光子——光的粒子——和电子，以使内容保持简而不繁。因为它们作用的方式才是重要的，而且是很有意思的。

现在你们已经知道我打算讲些什么了。下一个问题是，你们会理解我将要给你们讲的内容吗？去参加科学讲座的所有听众都清楚，他们不打算理解讲座的内容，但是，讲授者也许系了一条色彩鲜艳的漂亮领带可供观赏。在我这里，那可就错了！（费曼没结领带。）

我准备给你们讲述的是我们对研究生院三、四年级的物理系学生讲授的内容——你们以为我把这些内容解释给你们，你们就能理解吗？不！你们别打算能够理解它。那么，为什么我还要用所有这些东西来打扰你们呢？如果你们不可能理解我准备给你们讲的东西，为什么你们还要从头到尾坐在这儿听呢？我的任务是什么——我的任务就是要你们相信，不要因为你们不能理解就走开。你们该知道，我的物理系研究生也不理解它。而这是因为我本人也不理解它。没有人理解它。

关于“理解”，我想稍微讲几句。在我们讲课时，有许多原因使得听众不理解讲授者所讲的内容。一个原因是，讲授者的语言糟糕——他词不达意，或是讲得颠三倒四，这当然使听众难于理解。不过，这是小事，我会尽最大努力来避免我的纽约口音过分浓重。

另外一个可能性是——特别当讲授者是物理学家时，他们经常以稀

奇古怪的方式运用一些普通的词，例如，他们常常在本专业的意义上使用“功”呀、“能”呀——甚至，你将会看到，他们还使用“光”呀这类的词。所以当我在讲物理学上“功”的时候，它的意思和我在街头巷尾谈论的“功劳”的“功”可不是一回事。在这个讲座中，我也许会使用一个这类的词而没注意到我不是以它通常的意义在使用它。我将尽最大的力量使自己警觉这个问题——这是我的任务。不过，这是个容易犯的错误。

你们可能以为你们不懂我在给你们讲什么的另一个原因是，在我描述自然界如何工作时，你们不懂得自然界为什么这样工作。但是你们要知道，没有人懂得这一点。我不能解释自然界为什么以这样奇特的方式行事。

最后，还有一种可能性：在我讲了一些内容之后，你们就是不能相信它，你们不能接受它，你们不喜欢它。一个小小的障碍落下来，你们就不再听下去了。我在对你们讲述自然界是怎么样的——而如果你们不喜欢它，你们就要按照你们的方式去理解了。物理学家学会了正确对待的正是这样一个问题：他们学会了承认，对于一个理论，他们喜欢与否无关宏旨。重要的是这个理论所给出的预言能否与实验符合。一个理论是否在哲学上令人喜爱，或是否容易理解，或是否能从常识的观点看来完全合乎逻辑，所有这些都无所谓。从常识的观点来看，量子电动力学描述自然的理论是荒唐的。但它与实验非常符合。所以我希望你们按自然界本来的面目接受自然界；它本来是荒唐的，就接受它是荒唐的。

我怀着很大的乐趣向你们讲述这个荒唐，因为我发现做这事很愉快。请你们不要由于不能相信自然界如此奇怪而背过脸去。你们且把我的讲座听完吧；我希望在讲座之后，你们能像我这样喜爱这个学科。

我准备怎么样给你们讲那些我对三年级以下的研究生都不讲的内容呢？让我用类比的方法说吧！玛雅印第安人对作为“晨星”和“昏星”的金星的升起和落下很感兴趣——他们对这颗星何时出现感兴趣。多年的观

察之后，他们注意到在地球观察到的金星五个周期的时间与他们按365天为“一年”的8年的时间很接近（他们知道真正的回归年并不是365天，而且对此也做了计算）。为了进行计算，玛雅人发明了点回系统来表示数（包括零），他们还有计算规则。根据这些规则，他们计算并做出预言的不仅有金星的升落，而且有天上的其他现象，如月食。

在那个时候，仅有少数玛雅神父会做这种精巧的计算。好！假设我们准备问一位神父，在计算金星下一次何时会作为晨星而升起时，其中的一步——两数相减怎么个作法？让我们设想，和今天的情况不同，那时我们不上学，不知道什么是减法。这位神父会怎样对我们解释减法是怎么回事呢？

他可能教我们由点和回所表示的数和“减”法规则，也可能告诉我们他正在做的到底是什么：“假定我们想从584中减去236。先数出584粒豆子，把它们放到一个罐子里，然后从这些豆子里数出236粒放在一边。最后数数罐子里还剩下多少豆子。这个数就是584减去236的结果。”

你也许会说：“我的上帝呀！多没意思的工作呀——数豆子，把它们放进去，再数一些出来——真无聊！”

对此，神父可能会回答说：“这就是为什么我们对点回要定些规则。这些规则微妙复杂，但用它们得到答案比一粒一粒地数豆子可有效率多了。重要的是，如果我们所关心的就只是答案的话，那么怎么得到这个答案是无所谓的：为预言金星出现的时刻，我们可以数豆子（这很慢，但易于理解），或者使用复杂微妙的规则（算起来很快，但你必须花上几年在学校里学习这些规则）。”

要理解相减是怎么个做法——只要你不是非得真把它算出来不可——确实并不那么难。所以，我的想法是：我要给你们讲，在物理学家要预言自然界将如何动作时，他们在做的是什么，但不打算教你们任何

运算“窍门”，因为“窍门”只是在高效率地运算时才有用。你们会发现为使用量子电动力学这个新体系来做出合乎逻辑的预言，非得在纸片上回出多得吓人的小箭头不可。这需要七年的时间——四年大学和三年研究生——才能把我们物理系的研究生训练得会用这个复杂微妙而有效率的方式进行计算。我们准备也就是在这个地方，跳过这七年的物理训练：我给你们讲量子电动力学只讲我们到底在做什么，我希望你们理解得比我们的一些学生还好些。

我们再进一步看看玛雅人这个例子。我们可能问这位神父，为什么金星的五个周期大约等于2920天，或者说8年呢？要回答这个“为什么”，恐伯会有形形色色的理论。比如，“20在我们的计算系统中是个重要的数。如果用20去除2920，你会得到146，这个数比用两个不同方式得出的平方相加起来多1”，诸如此类。但这些理论与金星实际上毫无关系。在现代，我们发现这类理论一点用处都没有。所以我再说一遍，我们不打算讨论大自然为什么以现在这种独特方式运行这类问题。没有什么好的理论能够解释这一点。

迄今我所做的，是使你们有个正确的态度来听我讲课。不在这里讲，我就没有机会讲了。好，这些已经讲完了，言归正传吧！

我们从光开始讲起。牛顿在开始研究光的时候，他发现的第一件事就是白光是色光的混合。他用棱镜把白光分解为色光，但他在令一种色光——例如红光——通过另一个棱镜时，发现再进一步分解就不可能了。这样，牛顿就发现了，白光是不同色光的混合，而每一种色光都是纯的——就是说不可能再进一步分解了。

（事实上，一种特定的色光还可以以另一种不同的方式，根据所谓的“偏振（或极化）”再分解一次。不过，不考虑光在这方面的性质对理解量子电动力学的特征不是什么太严重的问题。所以为简化起见，我把它省略掉——其代价是，我将不能把这个理论给你们做一个绝对完整的

描述了。无论如何，这个小小的简化不会影响到对我所要讲的内容的真正理解。当然，对所有我略去不讲的东西，我肯定还要十分小心地告诉大家。）

在这个讲座中，当我说“光”的时候，我的意思并不仅仅是指我们所能看见的从红到蓝的光。原来，可见光只是长长的光标度尺上的一部分。这可以同音阶做个类比，有的音调高于你所能听到的，有的则低于你所能听到的。光的标度也可以用数（叫做频率）来描述——当数字越来越高时，光就从红而蓝，而紫，而紫外。我们不能看见紫外光，但它可以影响照相底片。它也还是光，只是（频率的）数字不同。（我们不应该太狭隘：能用我们自己的仪器——眼睛——直接探测的东西，并不是世界上仅有的东西！）如果我们再这么继续改变这个数，就会达到X射线、γ射线等。如果朝着另一个方向改变数字，我们就会由蓝而红，而红外（热）波，而电视波，而无线电波。对我来说，所有这些都是“光”。以后在举例时，我打算主要以红光为例，但量子电动力学的理论适用于我上面所说的整个范围，它是所有这些各种不同现象背后的理论。

牛顿认为光由粒子组成（他把它们叫作“微粒”），他是对的（不过他做出这个结论的推理是错的）。我们之所以知道光由粒子组成，是因为我们使用一种非常灵敏的仪器，当光照射这个仪器时，仪器就“嗒”“嗒”作响。如果光变暗了，声响还是那么强，只是响的次数少了。这样看来，光就有些像雨点——每一小团光就叫作一个光子——如果所有的光都是同一种颜色的，那么所有“雨点”的大小都是一样的。

人的眼睛是很好的仪器：只需五六个光子就能刺激一个神经细胞，并将这个信息传递给大脑。如果我们再多进化一点，使我们眼睛的灵敏度再提高十倍的话，我们就无须再做这个讨论了——我们所有的人就都可以把非常微暗的单色光看成是一系列断断续续的强度相同的小闪亮。

你们也许会担心单个的光子怎么可能被探测到。有一种仪器可以做这件事，它叫作光电倍增管。我给你们简单描述一下它是怎么工作的：当一个光子打到底部的金属板A（见图1）时，它将这个板上的一个电子从一个原子里打出来。这个自由电子被很强地吸向B板（它上面带正电），并以足够大的力撞到B板上，打出三四个电子。从B板上打出来的每一个电子又都被吸向C板（它也带正电），这些电子与C板的碰撞将敲打出更多的电子。这个过程重复十或十二遍，直到有上亿万个电子（这些电子足以形成一股相当大的电流）打到最后一块板L上。这个电流可以用一个普通的放大器加以放大，并送到扩音器，通过扩音器发出可以听到的“嗒”“嗒”声。每次某给定颜色的一个光子打到光电倍增管时，就可以听到一声声同样的“嗒”声。

如果你把所有的光电倍增管围成一圈，并让一个很暗弱的光在中间向各不同方向照射，光进入一个或者另一个光电倍增管，并发出强度十足的一声“嗒”响。声响要么十足，要么全无——就是说，如果在某一给定时刻，一个光电倍增管作响了，在同一时刻，其他所有光电倍增管都不会响（除非是两个光子在同一时刻离开光源这种偶然情况）。没有一个光子会分成两个“半光子”而走到不同的地方。

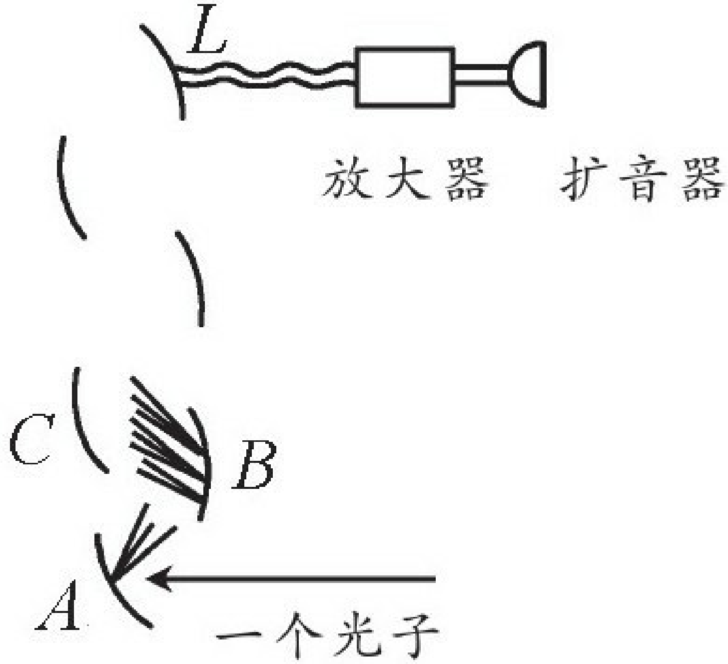


图1　光电倍增管可以探测一个单个的光子。当一个光子打到A板上时，一个电子就被敲出来，并被吸引到带正电的B板上，敲出更多的电子。这个过程持续下去，直到亿万电子打到最后一块板L上，并产生电流，这个电流被普通的放大器所放大。如果将一个扩音器同这个放大器连接，每当指定颜色的一个个光子打到A板上时，就会听到一声声同样的“嗒”声。

我想强调光是以粒子这种形式出现的。知道光的行为很像粒子这一点很重要，特别是对你们这些进过学校的人，你们在学校听到的恐怕是“光的行为很像波”这类说法。我要告诉你们，光的行为方式的确很像粒子。

你们也许会说，只有光电倍增管才能探测出光是粒子，但是，不然！所有的仪器，只要设计得对于探测弱光足够灵敏，最后总能够发现同一情况：光是由粒子组成的。

我想假设你们大家对日常生活中常见的光的性质都很熟悉——比

如，光走直线；进入水中时弯曲；在从镜子之类东西的表面反射时，它射向表面的角度与离开表面的角度相等；光可以分解为色光；如果一个小水坑的水面上有点油，你可以看到美丽的颜色；透镜可以聚光，等等。我想就你们所熟悉的这些现象来说明光确实稀奇古怪的行为；我打算用量子电动力学的理论来解释这些熟悉的现象。刚才我讲了光电倍增管，目的是向你们说明你们可能还不大熟悉的一个本质现象——光是由粒子组成的，但是到现在，我希望你们对这点也熟悉了。

好，我想你们大家都熟悉光从一些表面（例如水表面）部分反射的现象。许多罗曼蒂克的油回，回面上有月光从湖面反射，（大概有不少次你们让湖水反射的月光弄得挺尴尬吧！）当你低头看水时，你可以看见湖面以下的东西（特别是在白天），但你也可以看到从湖面反射的东西。玻璃是另一个例子：如果你在白天点亮房间里的一盏灯，然后透过玻璃窗向外看，你可以看到窗外的东西以及房间里这盏灯的昏暗模糊的反射。所以说，光从玻璃表面是部分反射的。

在我继续往下讲之前，我想让你们知道我打算做的一个简化，以后我会把这个简化再纠正过来的：当我谈到玻璃对光的部分反射时，我打算装作以为光只是从玻璃的表面反射。事实上，一片玻璃是一个复杂得可怕的怪物——极大量的电子在那里摇来晃去。一个光子射到玻璃上时，它是同整块玻璃中各处的电子——而不是只同表面上的电子——相互作用。光子和电子一起跳着一种舞，而净结果与光子只射到表面的结果是一样的。所以让我暂时做这个简化。以后我再给你们讲，在玻璃内部实际上发生的是什么，这样你们就可以理解结果为什么是相同的。

现在我想描述一个实验，并告诉你们它的令人吃惊的结果。在这个实验中，一些颜色相同——比如说红色的光子从光源落向一块玻璃（见图2）。一个光电倍增管置于这块玻璃上方的A处，用来捕捉由前表面反射的光子。为测量有多少光子通过前表面，把另一个光电倍增管安置

在这块玻璃的里面。你们别管把这个光电倍增管放到这块玻璃里面有多难，只想想这个实验的结果是什么。

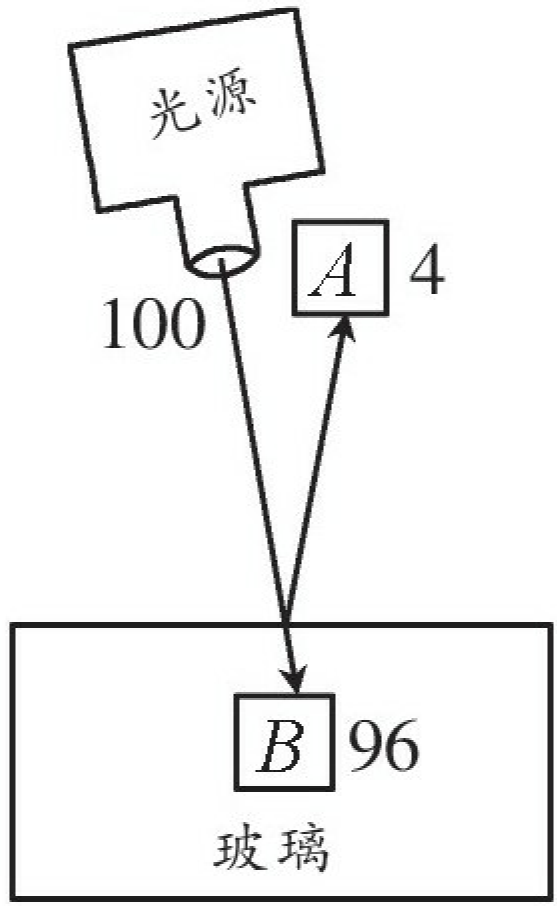


图2　这是关于测量光被玻璃的一个单个的反射面部分反射的实验。对于离开光源的每100个光子，有4个由前表面反射回去而终止于A处的光电倍增管，而其他96%则穿过前表面而终止于B处的光电倍增管。

对于每100个以90°垂直入射玻璃的光子，平均有4个到达A，96个到达B。所以，所谓“部分反射”在这里的意思是，有4%的光子被玻璃的前表面反射回去，96%则穿过去了。现在我们已经陷入困境：光怎么能够部分反射呢？每个光子或终止于A，或终止于B——这每个光子是怎么做出应该是去A还是去B的决定的呢？（听众笑！）听起来这可能是个

笑话，但我们不能只是笑笑而已：我们非要用理论做出解释不可！部分反射是个深邃的奥秘，它对于牛顿是个很困难的问题。

你们或许能编造出几个可能的理论来说明玻璃为什么对光有部分反射。其中一个理论是：玻璃表面的96%是小孔，它们可以让光通过，而其余4%的表面则被由反射材料组成的小斑所覆盖（见图3）。牛顿认识到，这种解释是说不通的。[1]等一会儿，我们将会看到部分反射的一个奇怪特点，如果那时你还坚持这个“孔斑理论”，或其他似是而非的理论，你就会给逼得发疯。

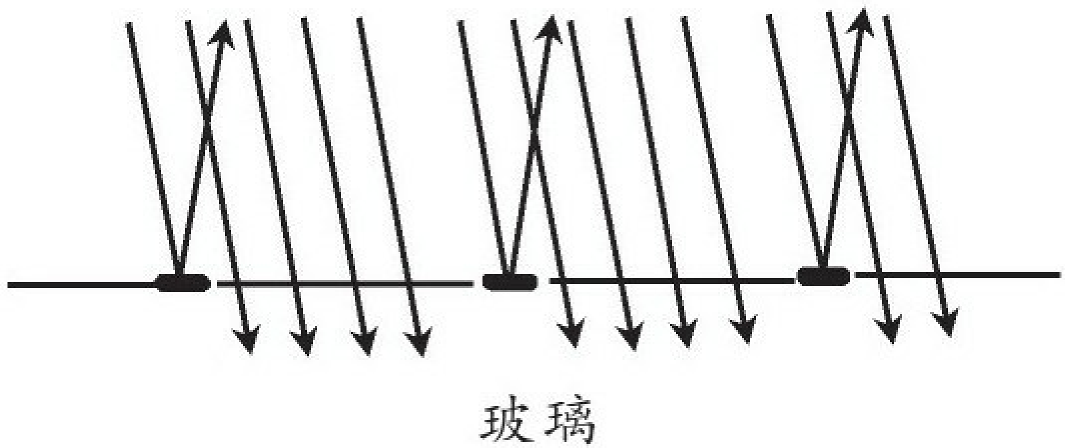


图3　一种用来解释单一表面部分反射的理论，它说反射表面由大量的孔和少数几块斑构成，孔让光通过，而斑则将光反射回去。

另一个可能的理论是：光子有某种内部机制——“轮子”“齿轮”之类在光子内部以某种方式转动——这个内部机制使光子瞄准，如果正好瞄得准，光子就穿过玻璃；如果瞄得不准，光子就反射。我们可以用这样的方法检验这个理论：在光源和第一片玻璃之间再额外放置几层玻璃，这样，那些瞄得不准的光子就会被额外置入的这几层玻璃滤出去。通过这些过滤层而到达这片玻璃上的光子应该全部是瞄得很准的，因而应该无一被反射。这个理论的问题在于，它与事实不符：即使在透过很多层

玻璃之后，到达给定表面上的光子仍然有4%为这个表面所反射。

我们也许会试着创造一个行之有效的理论，来解释光子如何自己“做出决定”，是穿过玻璃，还是反射回去，但要预言一个给定光子将走哪条路是不可能的。哲学家曾说过，如果在同样的情况下，不能永远产生同样的结果，要做预言是不可能的，科学也就垮台了。这里就是这样一种情况——全同光子总是沿着相同的方向落到同一片玻璃上——可是产生了不同的结果。我们不能预言，一个给定光子将到达A还是B。我们所能做的全部预言，就是在100个落在玻璃上的光子中平均将有4个被玻璃的前表面反射回去。这是不是意味着物理学——一门极精确的学科——已经退化到“只能计算事件的概率，而不能精确地预言究竟将要发生什么”的地步了呢？是的！这是一个退却！但事情本身就是这样的：自然界允许我们计算的只是概率，不过科学并没就此垮台。

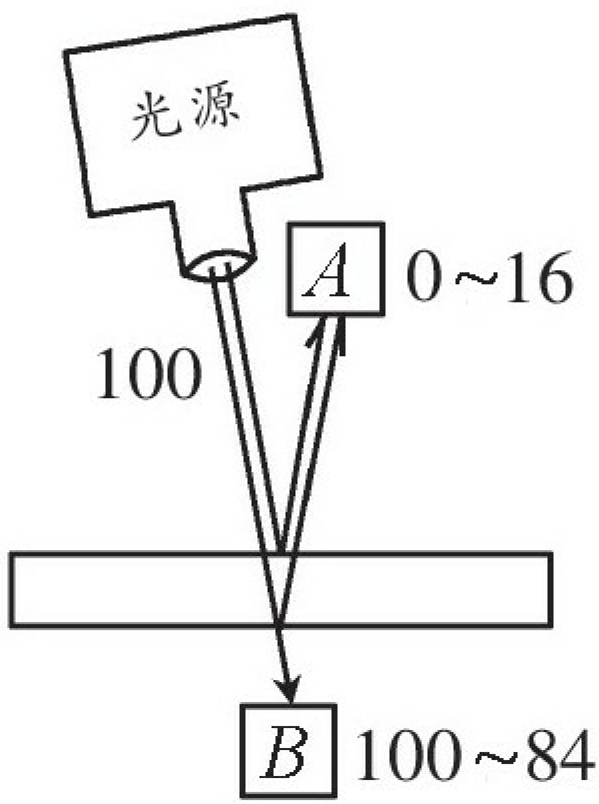


图4　这是测定光经过玻璃的两个表面部分反射的实验。光子可经由玻璃的前表面或后表面到达A处的光电倍增管，或者它们可穿过这两个表面打到B处的光电倍增管，并终止在那里。随着玻璃厚度的不同，每一百个光子中会有0～16个光子到达A处的光电倍增管。这个结果对任何合乎逻辑的理论（包括图3所示的理论）都是难题。看起来，部分反射可以被这个后增加的表面所抹杀或增大。

单一表面的部分反射已经是一个艰深的奥秘和困难的问题了，两个以至更多个表面的部分反射就绝对更让人头脑发懵。我告诉你们为什么。让我们来做第二个实验，测量光为两表面的部分反射。我们用一片薄玻璃取代以前那一大块玻璃，玻璃片的两个表面绝对相互平行，然后将一个光电倍增管置于这片玻璃之下，位置与光源相适应。这一次光子可能经前表面，也可能经后表面反射到达A，其余的将终止于B（见图4）。我们可能期望，前表面反射光的4%，而后表面反射其余96%的4%，加在一起，大约8%。所以我们应该得到的是，在离开光源的每100个光子中，约有8个到达A。

在实验条件得到精心控制的情况下，实际发生的事情是，每100个光子里有8个到达A的情况是很罕见的。用某些玻璃片，我们得到的读数总是15或16个光子——两倍于我们所期待的结果。用另一些玻璃片，我们又总是得到1或2个光子的读数。再用其他一些玻璃片，得到的部分反射是10%，有些玻璃则把部分反射索性抹得干干净净。什么理论能解释这么稀奇古怪的结果呢？我们检验了这些不同玻璃的质量和均匀度，发现反射结果的差异仅取决于玻璃的厚度。

为了检验光为玻璃的两个表面反射的量取决于玻璃厚度的思想，让我们来做一系列的实验：我们从尽可能薄到最薄程度的玻璃片开始，计数从光源发出的100个光子中有多少到达A处的光电倍增管。然后我们再换一片稍厚一点的玻璃来做新的计数。将这个过程重复几十次，结果如何呢？

用尽可能最薄的玻璃，我们所得到的到达A处的光子数几乎总是0——有时是1。当我们换上稍厚一点的玻璃时，光的反射量也大了一些——向我们期望的8%接近。再这么换几次以后，到达A处的光子计数将超过8%这个标志。如果我们再继续换上越来越厚的玻璃，光为两表面反射的量将会达到最大值16%，然后再逐渐减小，通过8%，再回到0。如果玻璃片的厚度适当，反射就会完全没有了。（用玻璃上的“孔和斑”能给出这样的实验结果吗？）

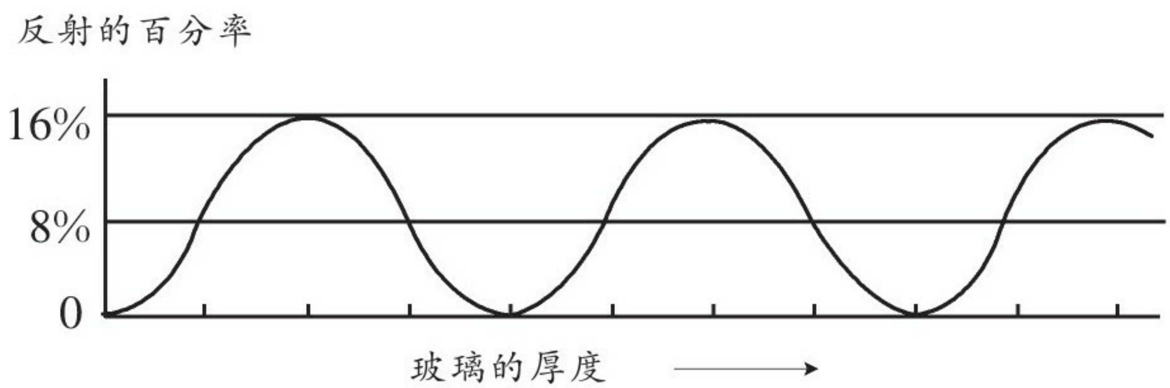


图5　仔细地测量一片玻璃的厚度与部分反射之间关系的实验结果演示了所谓“干涉”的现象。当玻璃厚度增加时，部分反射一直在0与16%之间反复循环，没有迹象表明这个循环会衰弱下去。

我们继续使玻璃片加厚，随着玻璃片越来越厚，部分反射再一次增加到16%，然后又返回到0——这个循环一遍一遍地不断重复（见图5）。牛顿发现了这种振荡并做了一个实验，只要这个振荡持续至少34000个循环，他这个实验就能被正确地说明。今天，利用激光（它可以产生非常纯的单色光），这个振荡已经可持续100000000个以上的循环后仍然很强——这相当于玻璃的厚度超过50米。（我们日常看不见这个现象，那是因为光源在一般情况下不是单色的。）

这样一来，我们所预言的8%，原来作为平均值才是正确的（因为实际的值是从0到16%有规则地变化），在每个周期中，它则只精确地

正确两次——就像一座停摆的钟：一天只正确两次。我们怎么才能解释部分反射依赖于玻璃厚度这个奇怪的现象呢？为什么在前表面下方某适当距离的地方放上第二个表面，我们就能把玻璃前表面所反射的4%给“抹掉”呢？而将第二个表面放在距离稍微不同的另一处，我们又能把部分反射放大到16%呢？这个后表面竟然对前表面反射光的能力施加某种影响或者作用，这怎么可能呢？如果我们放置第三个表面，又会怎样呢？

放上第三表面，或再增加任意多个表面，部分反射的量再次发生变化。我们发现我们自己是在用这个理论一个表面接一个表面地追下去，同时还记挂着是否终于到达了最后一个表面。一个光子为了“决定”它是否从前表面反射出去，它就非要这样一个表面一个表面地追下去不可吗？

关于这个问题，牛顿曾做过一些天才的讨论，[2]但他最后还是承认，他还没能建立一个令人满意的理论。

牛顿以后的许多年间，两表面的部分反射现象由波动理论解释得很好，[3]当实验做到以非常微弱的光打到光电倍增管上时，波动理论就垮台了：当光越来越微弱时，光电倍增管的响声强度不减，只是次数越来越少，光的行为类似于粒子。

现今的情况是，我们还没有一个好的模型来解释两表面的部分反射；我们只是计算某特定的光电倍增管被一片玻璃反射回来的光子所撞击的概率。我选择这个计算作为我们第一个例子来讲述量子电动力学理论所提供的方法。我要告诉你们“我们怎样数豆子”——就是说为了得到正确答案，物理学家是怎样做的。我不打算解释光子实际上如何“决定”它们是反射回来，还是穿过玻璃，这个问题尚属未知。（恐伯这个问题本身就没有意义。）我将只给你们讲怎样计算光从厚度给定的玻璃片反射的正确概率，因为只有这一件事物理学家知道该怎样做。要得到

用量子电动力学解释的所有其他问题的答案，其所用方法都与力得到这个问题的答案所使用的方法类似。

我希望你们能振作起精神，全神贯注地听下面这个问题——不是因为这个问题难于理解，而是因为它绝对的荒唐可笑：我们所做的全部事情，就是在一张纸上回小箭头——没有别的，就是这些！

好，那么我们现在问，一个箭头和一个特定事件发生的概率有什么关系呢？根据“我们怎样数豆”的规则，一个事件发生的可能性等于箭头长度的平方。例如，在我们的第一个例子里（即我们测量仅从前表面的部分反射），光子到达A处光电倍增管的概率是4%。与之相应的箭头的长度应力0.2，因为0.2的平方是0.04（见图6）。

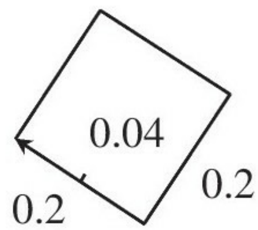


图6　两表面部分反射的奇异特性迫使物理学家放弃对一个事件做绝对的预测，而只是计算它的可能性。量子电动力学给出了进行这种计算的方法——在纸上回小箭头。一个事件的概率就由以这个箭头为边的正方形的面积来表示。例如，一个代表概率为0.04（4%）的箭头的长度为0.2。

在我们的第二个实验中（即用一块稍厚的玻璃取代薄玻璃），到达A处的光子可能是从前表面反射回去的，也可能是从后表面反射回去的。对这种情况，我们怎样回箭头表示呢？为了表示从0至16%的概率（取决于玻璃的厚度，见图7），箭头的变动范围必须在0至0.4之间。

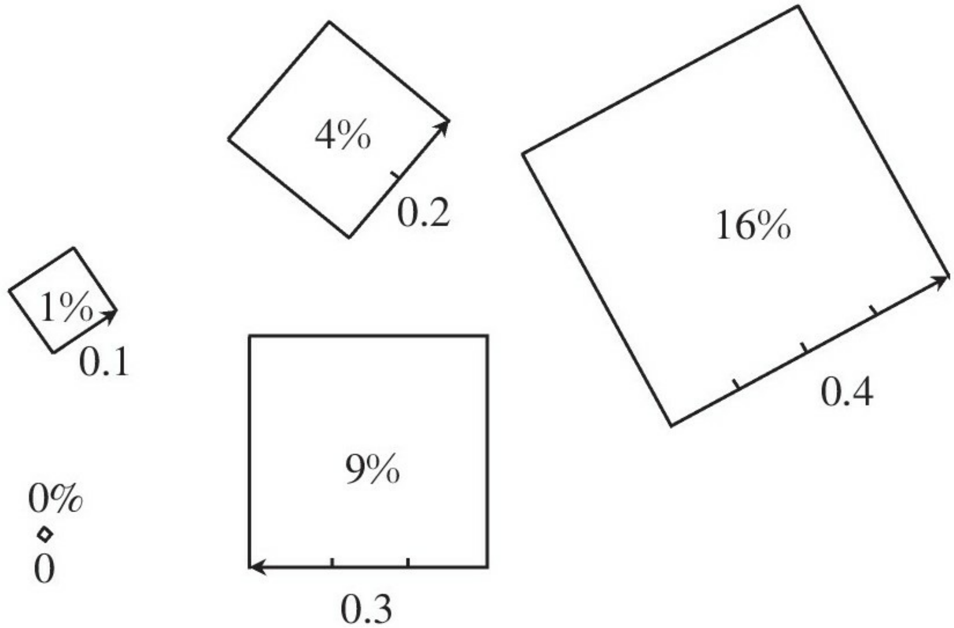


图7　代表概率从0至16%的箭头，它们的长度是从0至0.4。

我们首先考虑，一个光子能够从光源到达A处光电倍增管的各种不同方式。因为我已经做了简化，即光从前表面或从后表面反射回来，那就是说光子可通过两个可能的方式到达A。对这种情况，我们要回两个箭头——对此事件可能发生的每种方式都回一个箭头，然后把这两个箭头合成一个“最终箭头”，它的平方就代表这个事件的可能性。如果一个事件可能以三种不同的方式发生，我们就回三个分立的箭头，然后将它们合成。

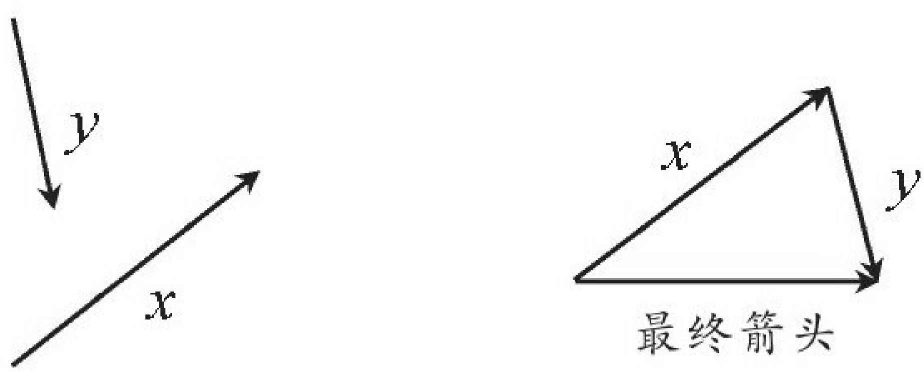


图8　一个箭头代表一事件发生的一种可能的方式，把所有这些箭头回出之后，再将它们以下列方式合成（即“加起来”）：将一个箭头的头部接到另一个箭头的尾部，每个箭头都不改变方向，然后从第一个箭头之尾至最后一个箭头之头回一个箭头，这就是合成的最终箭头。

现在，我告诉你们，我们怎样合成箭头。比如说，我们想合成箭头x与箭头y（见图8）。我们所做的无非就是将x的头接上y的尾（两个箭头都不改变方向），然后自x的尾至y的头回上最终箭头，要做的，仅此而已。我们可以按这个方法合成任意多个箭头（专业术语叫作“矢量相加”）。每个箭头都会告诉你在跳舞时，要朝哪个方向，移动多远。而最终箭头将会告诉你，怎样只移动一步就可以到达同一个终点（见图9）。

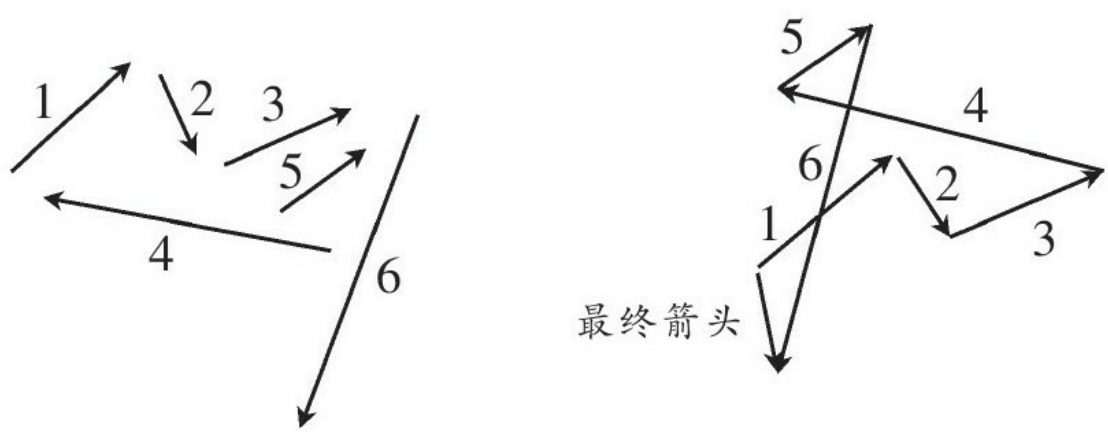


图9　用图8描述的方法，可以合成任意多个箭头。

现在来看一看，在决定我们加以合成的每一个箭头的长度和方向时，有什么特殊的规则。对这个特定的情况，我们将合成两个箭头——一个代表从玻璃前表面的反射，另一个代表从后表面的反射。

我们先看长度。正如我们在第一个实验（我们将光电倍增管置于玻璃之中）中所看到的，前表面将到达的全部光子的4%反射回去。这意味着“前反射”箭头的长度应为0.2。玻璃的后表面也反射4%，这样“后反

射”箭头的长度也应该是0.2。

为决定每一个箭头的方向，让我们想象用一个秒表来记录光子的运动时间。这个假想的秒表只有一个指针，它转动得飞快。当一个光子离开光源时，我们按动秒表。只要这个光子在动，秒表就转（对红光而言，光子前进1英寸，它转36000圈）。这个光子到达光电倍增管时，我们让秒表停住。这时指针指定的那个方向，就是我们要回的箭头的方向。

为了正确地计算答案，我们还需要一个规则：当考虑光子从玻璃的前表面反跳回来这个方式时，要把箭头反过来。换句话说，当我们回后表面反射的箭头时，它的指向与秒表指针方向相同，而回前表面反射的箭头时，方向要和秒表指针方向相反。

好，现在我们来回光从极薄的玻璃片上反射这种情况的箭头。要回前表面反射箭头，我们设想一个光子离开光源（秒针开始转动），然后从前表面反跳回去，到达A（秒表指针停）。我们回一个小箭头，其长度为0.2，方向与秒表指针的方向相反（见图10）。

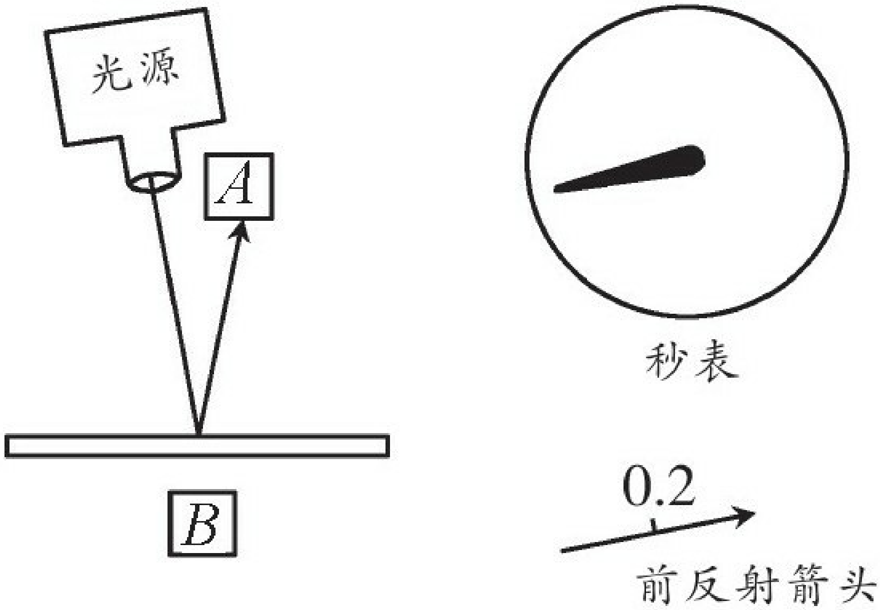


图10　在测定两表面反射的实验中，我们可以说，一单个光子可以两个方式到达A——经前表面或经后表面。两种情况下，箭头的长度均为0.2，而方向则取决于对这个光子运动计时的秒表的指针方向。“前表面”箭头的方向与秒表停转时指针的方向相反。

为了回后反射箭头，我们设想一个光子离开光源（秒表开始转动），穿过前表面，而从后表面弹回，到达A（秒表停）。这次秒表针的指向几乎同原来一样，因为从后表面弹回的光子仅用了稍长一点点的时间就到达了A——它两次穿过极薄的玻璃。我们现在回一长度为0.2的箭头，方向与秒表指针的方向相同（见图11）。

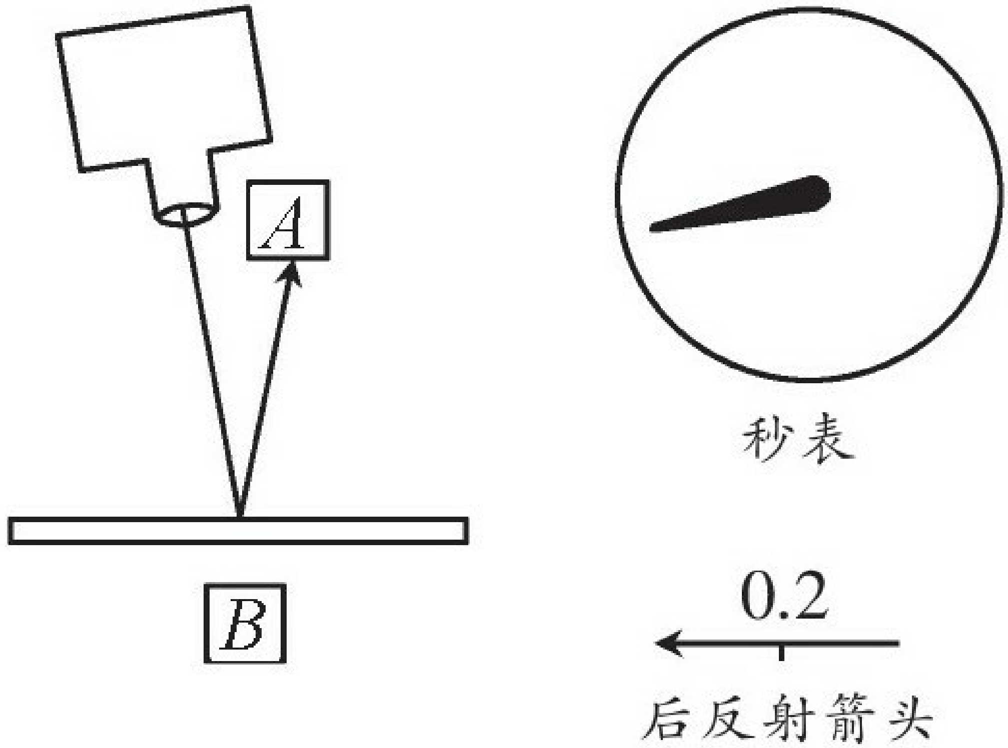


图11

图11　一个从一片极薄玻璃的后表面反弹回去的光子只用稍微长了一点点的时间即到达A。这样秒表针的指向与对从前表面反弹回去的光子记时的秒表针的指向只稍稍有点不同。“后反射”箭头的方向与秒表针的指向相同。

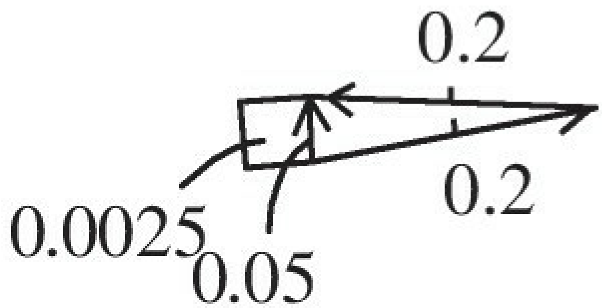


图12

图12　将前反射箭头与后反射箭头相加即可回出最终箭头，它的平方就代表了从一层极薄的玻璃反射的概率。结果是几乎为零。

现在我们来合成这两个箭头。因为它们二者长度相同，指向却几乎相反，所以最终箭头的长度几乎为零，它的平方也更接近零。这样，光从一片无限薄玻璃反射的概率实际上就是零（见图12）。

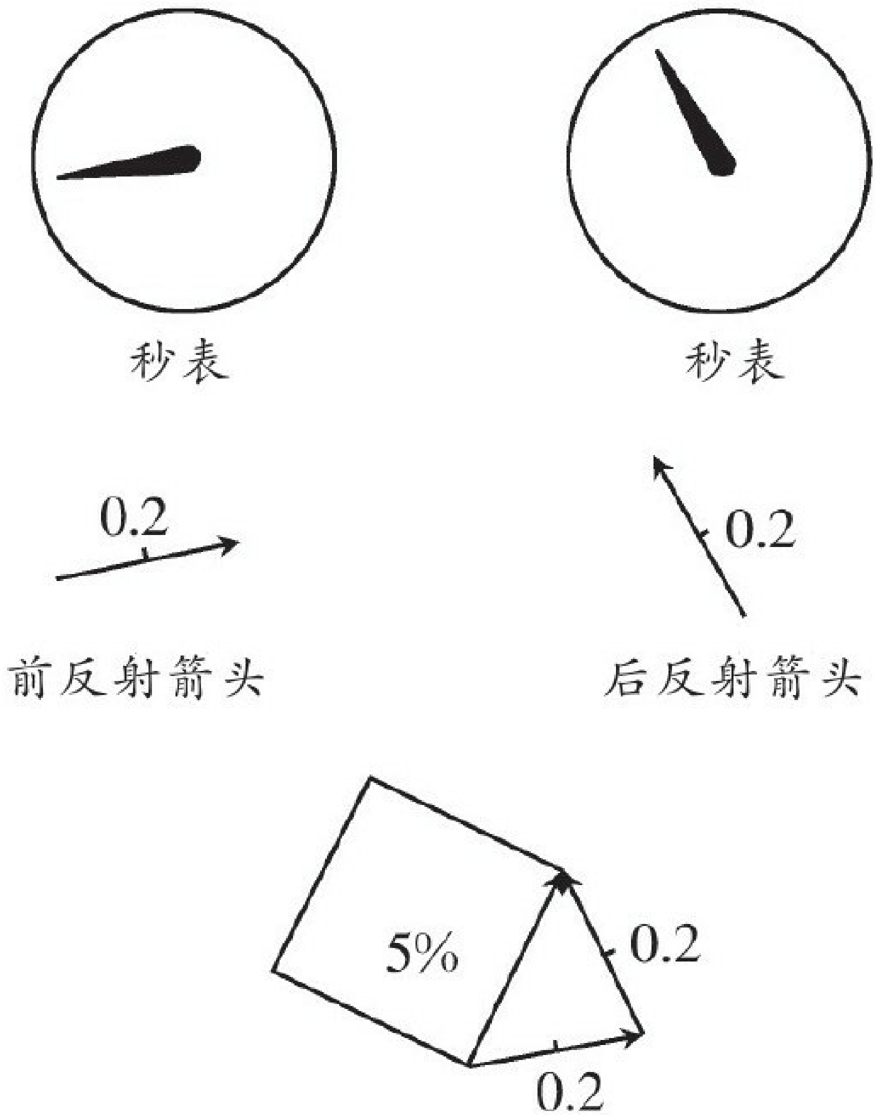


图13　对于稍厚一点的玻璃片，由于前后反射箭头之间相应的角度稍大一点，最终箭头也就稍长一点。这是因为同前一个例子相比，光子从后表面反弹回去到达A需要稍长一点的时间。

如果我们用一片稍厚一点的玻璃取代那片最薄的玻璃，从后表面反弹回去的光子到达A的时间比上面第一个例子就要长一些。这样，指针在停转之前就要转动得稍多一点，后反射箭头相对于前反射箭头，角度也稍稍大一些。最终箭头就稍稍长一点，它的平方相应地也就大一些

（见图13）。

再举另外一个例子，让我们看一看玻璃的厚度足以使对从后表面反弹回来的光子计时的秒表的指针比从前表面反弹回来的正好多转半圈的情况。这次，后反射箭头与前反射箭头的指向完全相同。将这两个箭头合成，我们得到长度为0.4的最终箭头，它的平方是0.16，代表着可能性为16%（见图14）。

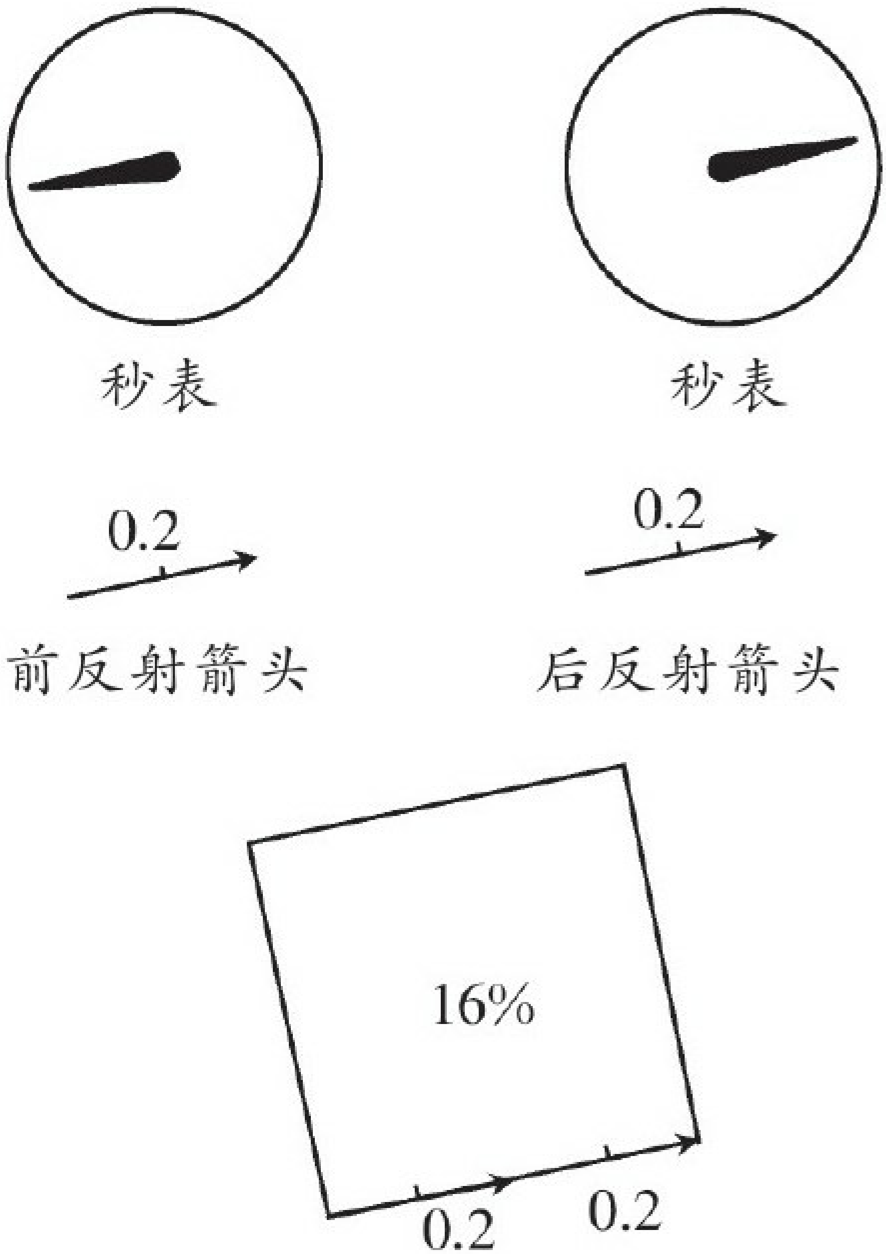


图14　当这片玻璃厚得足以使对后反射光子记时的秒表的表针多转半圈，那么前后反射的箭头最终指向同一方向，结果最终箭头的长度是0.4，这表示概率为16%。

如果增加的玻璃厚度恰恰使得测定后表面路径的秒表指针多转整整一圈，我们的两个箭头再次指向相反的方向，则最终箭头将为零（见图

15）。每当玻璃的厚度足以使测后表面反射时间的秒表针又转一整圈时，这种情况就再一次发生。

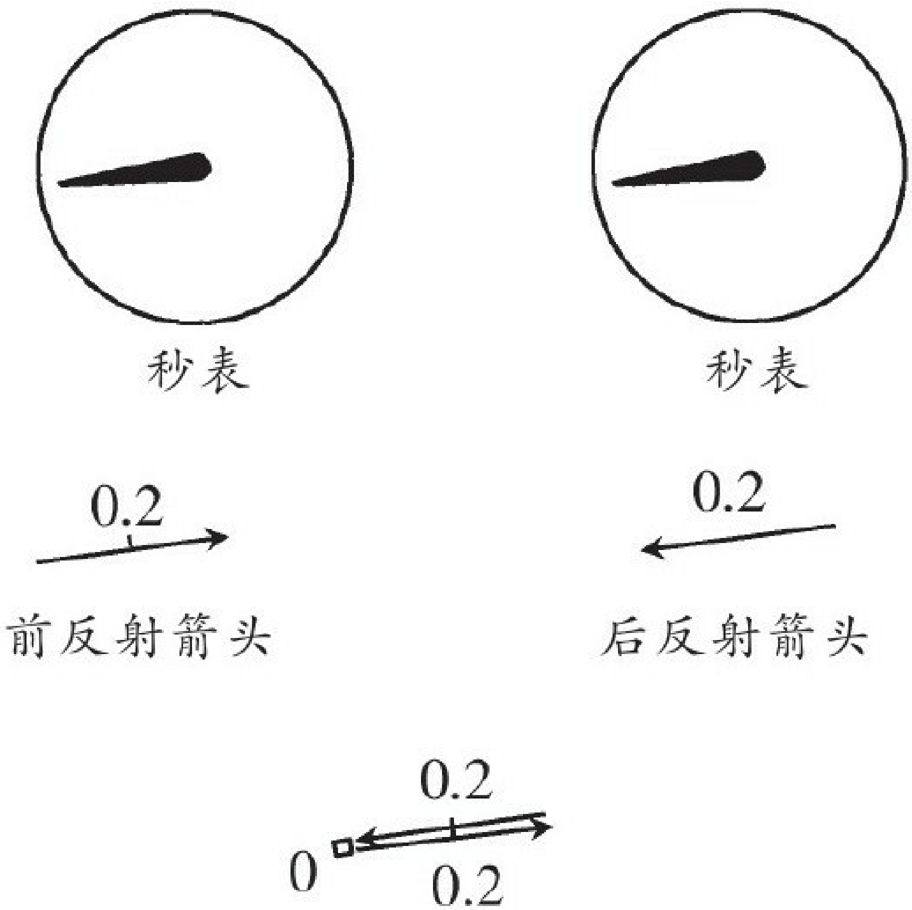


图15　如果这片玻璃的厚度刚好使对后反射光子计时的秒表的指针整整多转一圈或数圈，那么最终箭头还是零，从而完全没有反射。

如果玻璃的厚度使测量后反射时间的记秒表的指针正好多转1/4圈或3/4圈，那么两个箭头将成直角。这种情况下的最终箭头将是直角三角形的斜边。而根据毕达哥拉斯定理，斜边的平方等于其他两边的平方和。这就是前面说过的那个“一天两次”正确的值——4%+4%得8%（见图16）。

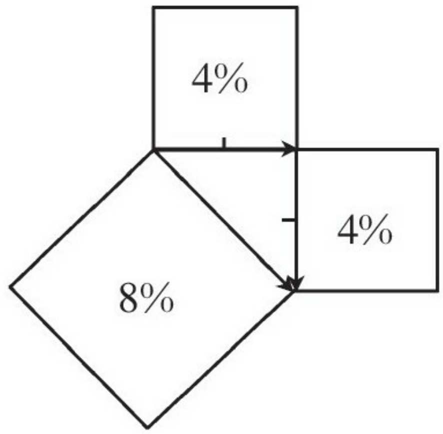


图16　在前后反射箭头相互成直角时，最终箭头是直角三角形的斜边。这样，这个斜边的平方就是另外两边的平方和——8%。

注意，当我们逐渐增加玻璃的厚度时，前反射箭头永远指向同一方向，而后反射箭头则逐渐改变方向。两个箭头相对方向的变化使得最终箭头的长度从0到0.4循环；这样，最终箭头的平方则在0到16%之间循环，这就是我们在实验中看到的现象（见图17）。

我刚才已经告诉你们，部分反射的这种奇妙特性，怎样通过在纸片上回一些该死的小箭头就能精确地计算出来。这些箭头的专业术语是“概率振幅”，如果我说我们“正在计算一个事件的概率振幅”，我觉得比较光彩些。不过，我倒倾向于一种更诚实的说法，即我们正在努力求出一个箭头，它的平方代表某事件发生的概率。

在结束第一讲之前，我想再谈谈你们在肥皂泡上见到的颜色是怎么回事。或者，更好的例子是，如果你的汽车陷在泥淖里漏了油，在观看这肮脏泥淖上棕色的漏油时，你会看到泥淖表面上的美丽颜色。浮在泥淖上的薄油膜有点像一片很薄的玻璃片。它对一种色光的反射可从零到最大值，具体数值取决于油膜的厚度。如果用纯红光照射油膜，我们就会看到红光斑被一些黑色窄条（那里没有反射）分割开，这是因为油膜的厚度并不绝对均匀。如果用蓝光照射油膜，我们将看到蓝光斑被黑色窄条分割开。如果用红和蓝两色光照射油膜，我们会看到有些区域（厚

度恰好适合反射红光）仅强烈反射红光，另一些区域（其厚度适合反射蓝光）仅反射蓝光，也还有一些区域（其厚度适合反射红蓝两色光），强烈反射红蓝两色光——在我们的眼睛看来，这是紫光；而在厚度适当的另一些区域，则所有的反射都相互抵销掉，这里呈现黑色。

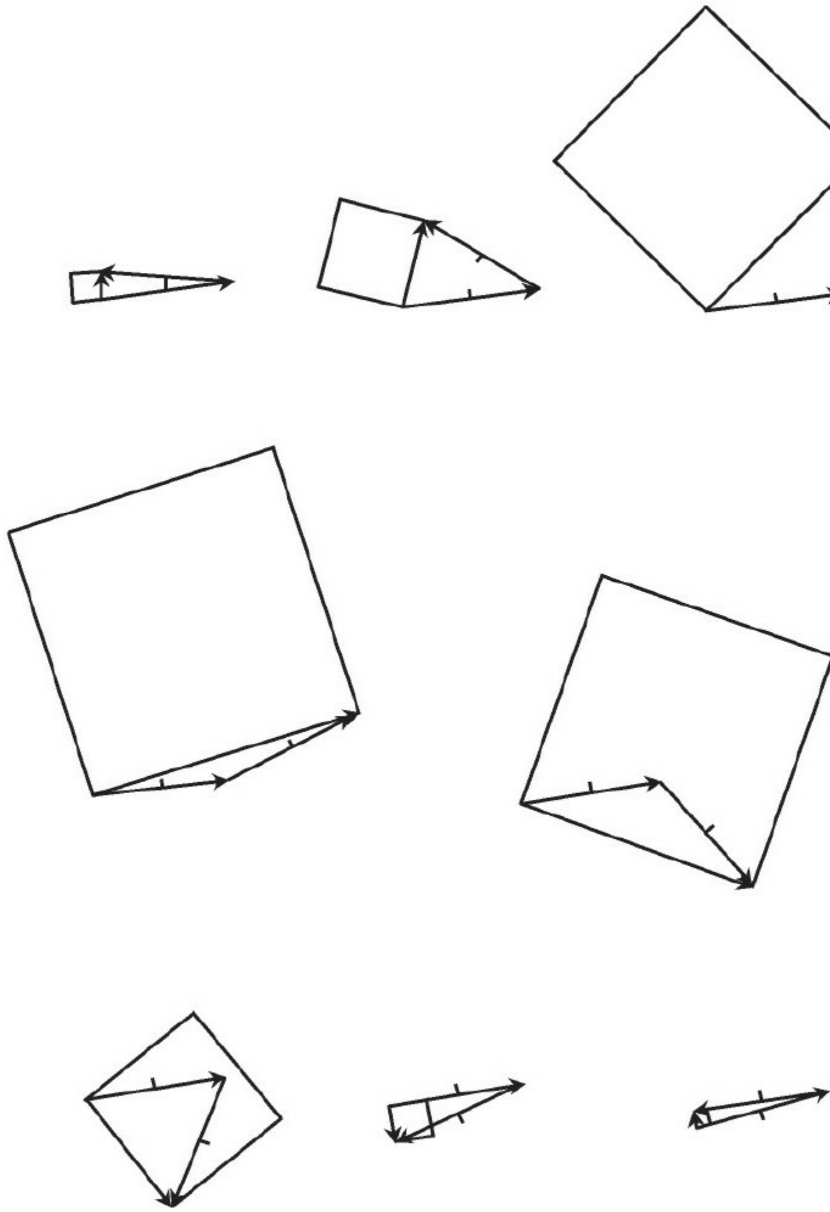


图17　当薄玻璃为稍厚的玻璃取代时，对从后表面反射的光子计时的记秒表指针转动得稍多一点，前后反射箭头之间相应的角度就改变了。这导致最终箭头长度的改变，它的平方也就从0变到16%，再回到0，这样一再的重复。

为了把这个问题理解得更透彻些，我们需要知道，两表面部分反射从0到16%的这种循环，蓝光比红光重复得快些。这样，在厚度适当的某些区域，一种色光，或另一种色光，或两种色光一起被强烈反射，而在厚度为另外一些值的区域，两种色光的反射都恰被抵销掉（见图18）。反射的这个循环之所以以不同的速率重复，是因为秒表指针在对

蓝光子计时的时候，比对红光子计时的时候转得快些。事实上，这是红光子和蓝光子（或者同其他颜色的光子，包括无线电波、X射线等）的唯一区别——秒表指针转速不同。

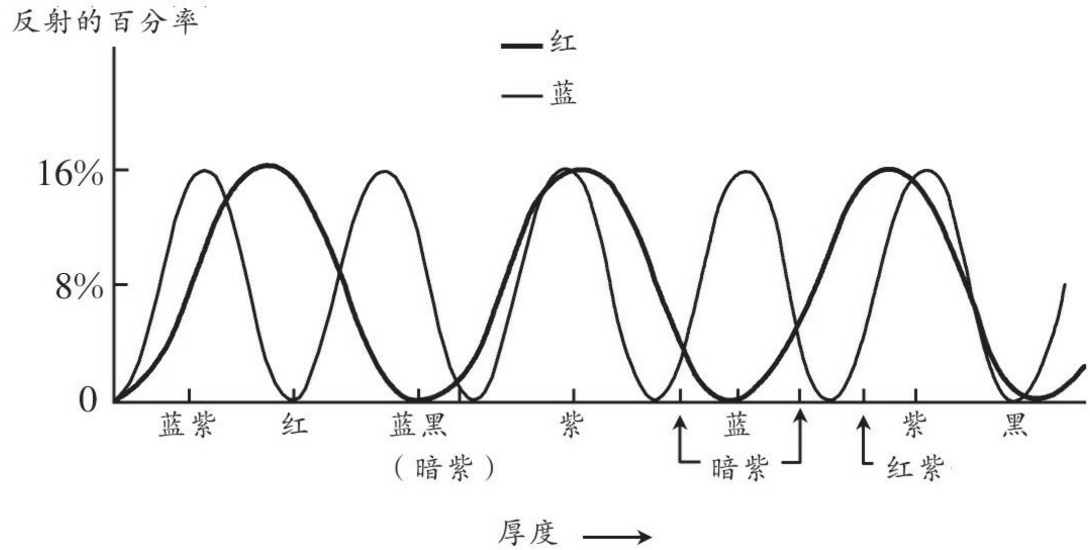


图18　随着薄层厚度的增加，两表面对单色光产生的部分反射，其反射概率以0至16%的循环而起伏。由于想象中的秒表指针的转速随光的颜色的不同而不同，所以这个循环自我重复的速率不同。这样，当比如像纯红和纯蓝这样的两色光射到这个薄层上时，某个厚度将仅反射红光，或仅反射蓝光，或以不同的比例反射红蓝两色光（因而产生出各种不同的紫光），或什么光都不反射（呈黑色）。如果薄层的厚度各处不同，比如在泥淖上散开的一滴油，上述这些现象会综合在一起发生。在阳光（包含所有色光）下，各类综合都会发生，从而产生丰富的色彩。

如果我们用红蓝两色光照射一层油膜，会出现红、蓝和紫色图案，其中杂以黑色间隔。当阳光（包含红、黄、绿和蓝光）照射到泥淖上的油膜时，强烈反射这些色光的区域搭接在一起，构成形形色色的综合，我们的眼睛看到的就是各种不同的颜色。当油膜在水面上扩展时，它各区域的厚度随之发生变化，色彩的图案也就不断变化。（相反地，如果你想在晚间观看路灯【钠灯】照射下的同一泥淖，你会发现只有间以黑色条纹的黄色色带——因为这些特殊的路灯仅发射一种色光。）

由两表面对白光部分反射而产生颜色的现象叫作彩虹现象，这在很多场合都可以见到。也许以前你们琢磨过蜂鸟和孔雀的鲜艳色彩是怎样产生的。现在你知道了。它们的这些鲜艳颜色是如何进化来的也是个有趣的问题。在观赏孔雀时，我们确应称赞一代一代貌不惊人的雌孔雀选择她们雄性伴侣的能力。（后来，人类也参与了这个活动，使孔雀选择过程的效率更高。）

下一讲，我要做给你们看看，对于其他一些你们所熟悉的现象，用小箭头合成这种荒唐方法怎样能计算出正确答案。这些现象包括光沿直线传播、光从镜面反射的角度与它射入镜面的角度相同（即“入射角等于反射角”）、透镜聚光等。这个新的提纲将描述你们所知道的关于光的一切。

注释

1. 牛顿怎么会知道这种解释是说不通的呢？牛顿是个非常伟大的人：他写道，“因为我会磨玻璃”。你也许会奇怪他说的糊涂话，什么叫因为你会磨玻璃，玻璃表面就不可能是“孔”和“斑”呢？原来，牛顿是亲自磨制自己用的透镜和镜子的，而且他知道，在磨的时候他究竟是在干什么。他是在用越来越细的粉末在玻璃表面上制造擦痕。随着擦痕越来越细腻，玻璃的表面就从原来的暗灰（由于光为大擦痕所散射）变得越来越透明光洁（因为这些极微小的擦痕让光通过）。这样，他就看出，要接受光能为细小的擦痕或“孔和斑”的不规则性所影响这类的解释是不可能的。实际上，他发现事情刚好相反，最细小的擦痕，以及与它同样细小的斑痕都不影响光。所以孔斑理论是不可取的。

2. 牛顿让自己确信光是“粒子”，这对我们来说是很幸运的，因为这使我们有机会了解到，一个多么富于创造性的天才头脑，在面对两表面或多表面部分反射的这个现象时，不得不绞尽脑汁来做出解释。（那些相信光是波动的人，就从来不会为这个问题伤脑筋。）牛顿的讨论是

这样的：虽然看起来，光是从第一表面反射的，但实际上它可能不是从这个表面反射的。如果光真是从第一表面反射掉了的话，那么当玻璃为一定厚度而完全没有反射时，那已经被第一个表面反射掉的光，怎么会又给捕捉回来了呢？这样看来，光一定是被第二个表面反射的。但是，要说明为什么玻璃厚度决定部分反射量这个事实，牛顿提出这样一个思想：打到第一个表面上的光发出一种波或场，它随着光一起运动并预先安排光是否从第二个表面反射。他称这个过程为“易反射或易透射的阵发痉挛”，它周期性地出现，并取决于玻璃的厚度。

这个思想有两个困难：第一个是附加表面的作用——每一新表面都影响反射——这我们在讲课时，已经讲过了。另一个问题是光肯定要为湖水所反射，而湖却没有第二个表面，所以光必定是由前表面反射的。对于这种单表面的情况，牛顿说光事先已经有了反射的安排。一个理论要求光知道它将要打上的是怎样的表面，以及是否是唯一的表面，我们能接受这样的理论吗？

牛顿显然知道他的“易反射或易透射的阵发痉挛”理论不能令人满意，但他没有强调这个理论带来的这些困难。在牛顿那个时候，人们对理论带来的困难只做简单的处理，掩饰过去——这同我们今天在科学上对待难题的方式不同。今天，我们要把我们的理论和实验观测不相符合的地方指出来。我可不是要说任何反对牛顿的话，我只是想夸一夸我们今天在科学上相互交流时是怎么做的。

3. 波动理论解释这个现象利用的是波可以相长或相消的事实，根据这个模型所做的计算，与牛顿的实验以及此后几百年的实验相符合。但是仪器已经进步到精确得足以探测出单个光子的程度，这时，波动理论的预言是光电倍增管的作响声将越来越弱——但事实上，每一次作响的强度始终如一，只是作响的次数越来越少。没有一个说得通的模式能够解释这个事实——所以曾经有过那么一个时期，那时人们非得一时一时

地放聪明点不可：为了说光是波动还是粒子，你必须要知道你在分析的是什么样的实验。人们称这种混乱状况为光的“波-粒二象性”，或者像一个人开玩笑说的那样：光在星期一、三、五是波动，二、四、六是粒子，而在星期日，我们就要思考它是什么。这个讲座的目的，正是要告诉你们，这个谜最终是怎样解开的。

第2章　光子：光的粒子

这是关于量子电动力学的系列讲座的第二讲。显然诸位上次都不在座（因为上次我告诉大家，他们别打算听懂任何东西），所以我先把第一讲的内容简要地总结一下。

第一讲我们讲的是光。光的第一个重要特点是，它看起来是粒子：如果我们用非常微弱的单色光（即一种颜色的光）打到探测器上，那么当光越来越弱时，探测器作响的次数就越来越少，但每次作响的声响的大小不变。

上一讲讨论的光的另一个重要特性是单色光的部分反射。打到玻璃单表面上的光子有4%被反射回来。这件事就已经是个艰深的奥秘了，因为不可能预测哪个光子反回来，哪个光子穿过去。加上第二个表面后，结果更是奇怪，两表面的部分反射不是所期望的8%，而是可以高达16%，或完全没有——究竟如何则取决于玻璃的厚度。

两表面部分反射的这个奇怪现象，在强光的情况下，可由波动理论来解释，但波动理论所不能解释的是，在光越来越微弱时，探测器发出的“嗒”“嗒”声总是同样的强。量子电动力学“解决”了这个“波-粒二象性”的问题，它的说法是，光是由粒子组成的（正如牛顿原来所想的那样），但科学的这个巨大进步的代价是物理学被迫后撤，撤到它所能计算的只是一个光子打中探测器的概率这种地步，而给不出一个很好的模型来说明：实际发生的到底是什么。

在第一讲中，我介绍了物理学家如何计算一个特定事件发生的概率。他们根据一些规则在纸片上回出一些箭头，这些规则是：

——基本原则：一个事件发生的概率等于所谓“概率振幅”之箭头的长度的平方。例如一个长度为0.4的箭头代表着0.16（或写作16%）的概率。

——一个事件可能以几种不同方式发生时，回箭头的一般规则是：对每种方式回一个箭头，然后合成这些箭头（把它们加起来），即用一个箭头的尾钩住前一个箭头的头。从第一个箭头之尾回向最后一个箭头之头，就回出了“最终箭头”。最终箭头的平方即给出整个事件的概率。

关于玻璃部分反射的情况，还有一些特殊的回箭头的规则（可参阅第一讲有关部分）。

上述内容就是对第一讲的一个复习。

刚才讲的这个世界模式同你们过去所见过的任何模式都完全不同（而且恐伯你们希望永远不要再见到这样的模式了），现在我要做的就是给你们讲，用这个模式怎么能够解释你们所知道的关于光的全部简单性质：光从镜面反射时，入射角与反射角相等；光从空气进入水中时会发生弯曲；光直线行进；光能通过透镜聚焦，等等。这个理论还能解释光的许多你们恐伯还不大熟悉的性质。我实在是愿意把你们在学校那么多年所学到的关于光的全部性质统统推导出来。实际上我在准备这个讲座时，感到最困难的是我必须克制自己的这个愿望，比如推导出光穿过边界进入阴影时的行为（称为“衍射”），等等。由于你们当中绝大多数人恐伯并未仔细地观察过这类现象，我只好忍痛割爱，不讨论它们了。但是，我可以向你们保证（不然的话，你们对我下面要举的例子会产生误解），所有被仔细观察了的光现象，量子电动力学都能够解释，尽管我打算讲的只是那些最简单、最普通的现象。

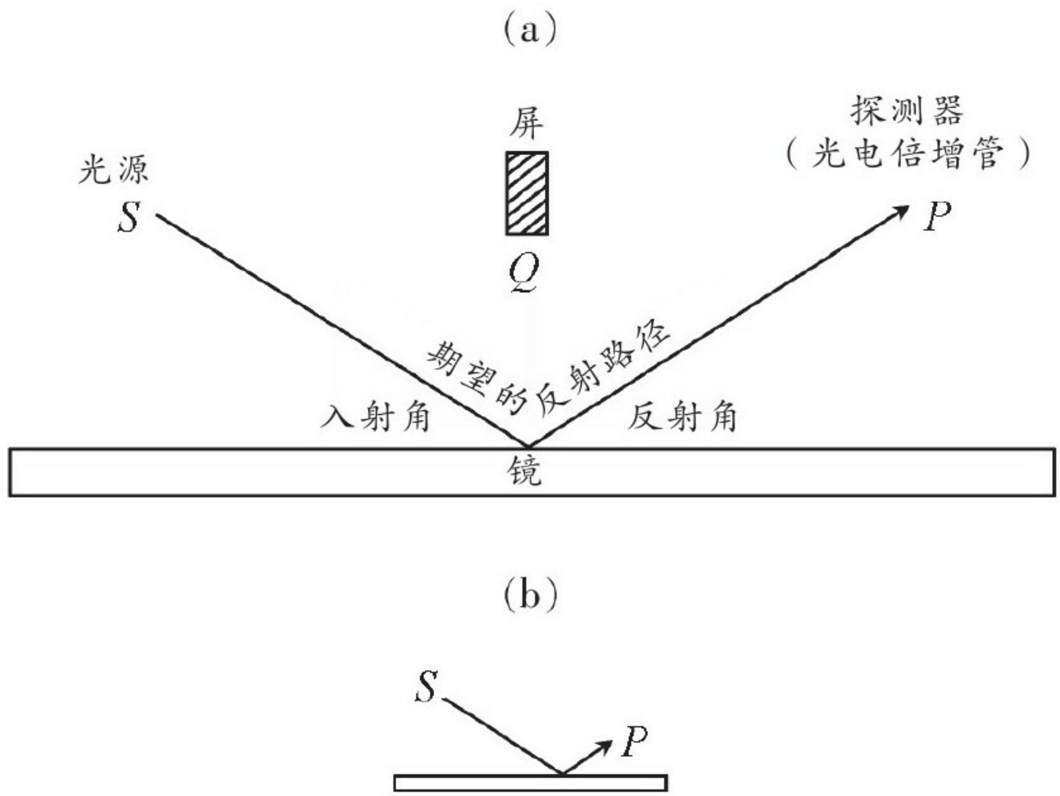


图19　经典世界观认为镜子反射光是从镜面上能使光的入射角与反射角相等的地方反射的，即使光源与探测器位于不同的水平高度时也是这样。见图（b）。

我们的讨论从一面镜子开始——确定光从镜面如何反射的问题（见图19）。我们在S处放置一个以很低强度发射单色光（让我们假设还是红光）的光源。这个光源一次只发射一个光子。在P点，我们放置一个光电倍增管来探测光子，为了对称，让它的高度与光源的高度相同。如果所有的东西都对称，回箭头将容易些。我们想计算的是一个光子被光源发射出来后使探测器作响的机会是多大。由于光子也可能走直线到达探测器，我们在Q处放置一个屏板防止这一点。

你尽可以这样认为，就是说你可以认为镜面靠两端的部分同从光源出来的光子经反射到达探测器这件事没有任何关系。我们还是来看看量子电动力学是怎么说的。我们再重复一遍规则：一个特定事件发生的概率是最终箭头的平方。（将一个事件发生的每一种可能方式回一个箭

头，然后将所有这些箭头合成，即“相加”，就可以得到最终箭头。）在以前我们讲过的那个两表面部分反射的实验里，光子从光源到达探测器可以有两种方式。而在这个实验里，一个光子可有千万条路可走：它可能向下到镜子左端的A或B（打个比方），然后反弹上来到达探测器（见图20）；它也可能从你认为理所当然的G处反弹回来；或者它可能下到镜子右端的K或M处，而后弹上来到达探测器。你也许会想我这么说简直是在发疯，因为我所说的光子从镜子反射的大部分可能路径，入射角与反射角并不相等。但是，我并没发疯，因为光实际走的路就是如此！——这怎么可能呢？

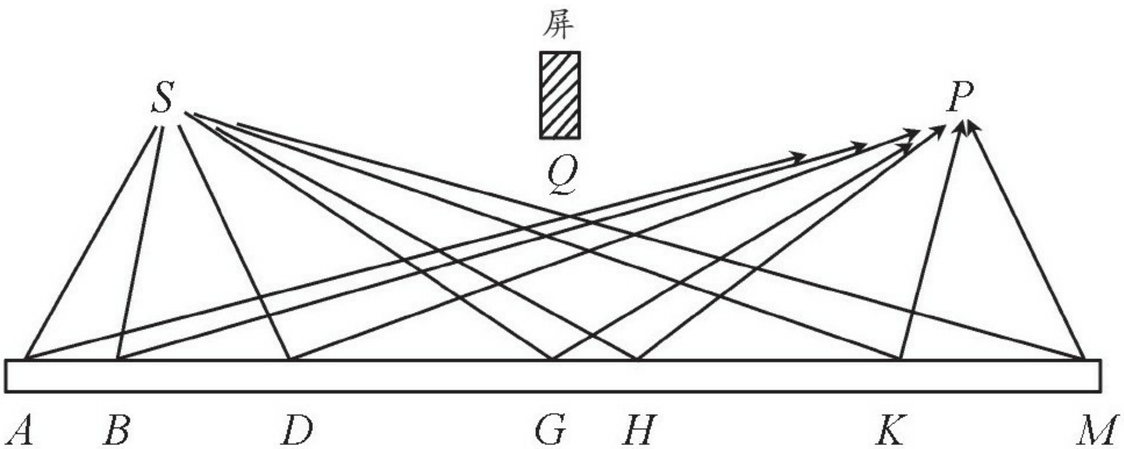


图20　量子世界观认为，光从镜面上任何部分（自A至M）反射的振幅都相等。

为了使这个问题比较容易理解，我们假设这个镜子只是从左至右的这么一个长条——同样，我们最好也暂时忘记这镜子是从纸面上凸起的（见图21）。虽然实际上光可以从这个小长条镜子上面的成千上万处反射，但我们暂把这条小镜子分成一定数量的小正方格，而且对每个小正方格仅考虑一条反射路径。当我们把正方格回分得更小，从而考虑更多的反射路径时，我们的计算就更精确一些（但也更困难一些）。

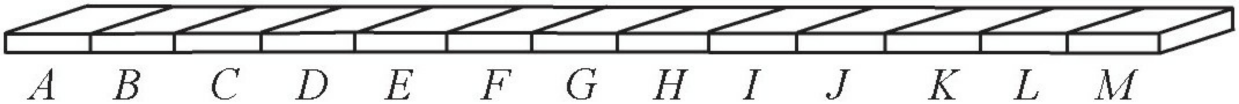


图21　为了比较容易地计算出光走到何处，我们暂时只考虑一长条镜子，把它分割为许多小方块，一个方块对应着一条光路。这种简化绝对无损于对情况的精确分析。

现在我们把在这种情况下，光能走的每一条路径回一个小箭头。每个小箭头都有一定的长度和方向。我们先来考虑长度。你也许会认为通过镜子中心的G点的箭头最长，而且永远长于其他箭头（因为看来光子要到达探测器，非走这条路不可，所以光子走此路的概率非常高），而代表途经镜子两端的箭头一定相当短。不！不是这样！我们不应该提出这类任意武断的规则。正确的规则——即实际发生的情况——要简单得多：对到达探测器的每一个光子来说，它走的任何一个可能路径的机会都几乎相同。这样，所有小箭头的长度都几乎一样。（实际上，由于角度和距离不同，诸小箭头在长度上略有差别，不过小到我准备忽略不计。）这样，可以说，我们所回的每一个小箭头都可有任意的标准长度——我打算把这个长度定得很短，因为要代表光可能走的众多路径会有非常多的箭头（见图22）。



图22　在我们的图中，光可能走的每条路径将由一个任意标准长度的箭头代表。

虽然我们可以很安全地假设，所有箭头的长度都几乎相同，但由于各光子的计时不同，它们的方向则明显不同——第一讲中我们曾说过，一个特定箭头的方向是由测定光子沿着某特定路径运动所需时间的秒表指针的最终位置来决定的。如果一个光子途经镜子左侧的A点，然后上来到达探测器，它所经历的时间显然长于经镜中央G点而反射到探测器上的光子所用的时间（见图23）；或者，你可以想象一下，你匆匆忙忙想赶快从镜子上方的“源”点经过镜子到达探测器。你会知道，经过A点到达探测器肯定不是好办法，经过镜中央的某点一定会快得多。

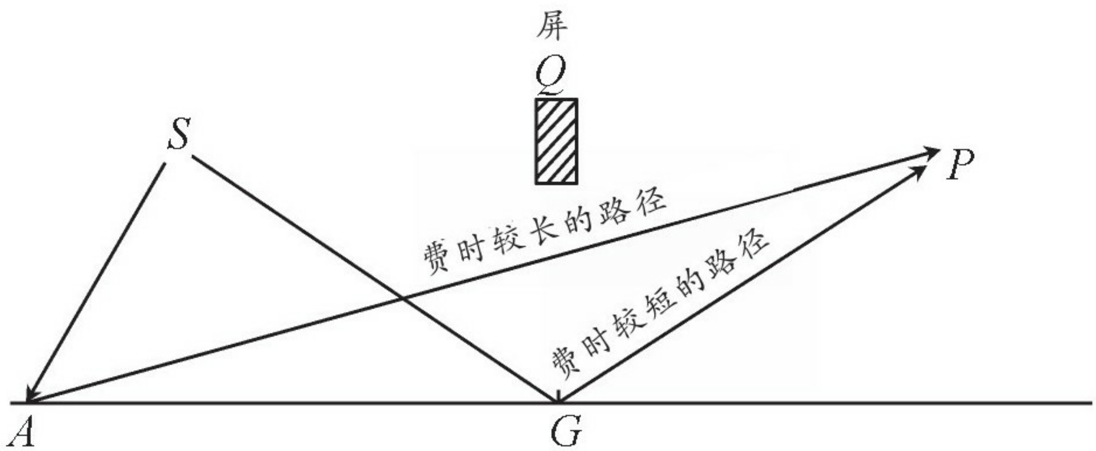


图23　所有这些箭头长度虽然差不多一样，但方向却各不相同，因为光子走不同的路径所需时间不同，走经A至P的路显然比经G至P的路需要的时间长。

为了帮助我们计算每个箭头的方向，我准备在那个镜子反射草图的正下方，再回一个图（见图24）。在镜子上光可能进行反射的每个地点的正下方，竖直地表示光走这条路所需的时间。所需时间越长，图上的点也就越高。从左端开始，光子途经A反射的这条路所需的时间相当长，所以我们把相应的点在图上标得很高。随着逐步移向镜子中央，光子沿我们注视的那一条条特定路径所需的时间越来越短，相应的点将依次标得越来越低。在通过镜子中央后，光子走过那些路径所需的时间会越来越长，于是相应的点将标得越来越高。为了看着方便，我们把这些点连起来，它们组成一条对称的曲线，起点很高，然后向下，再回升到起始的高度。

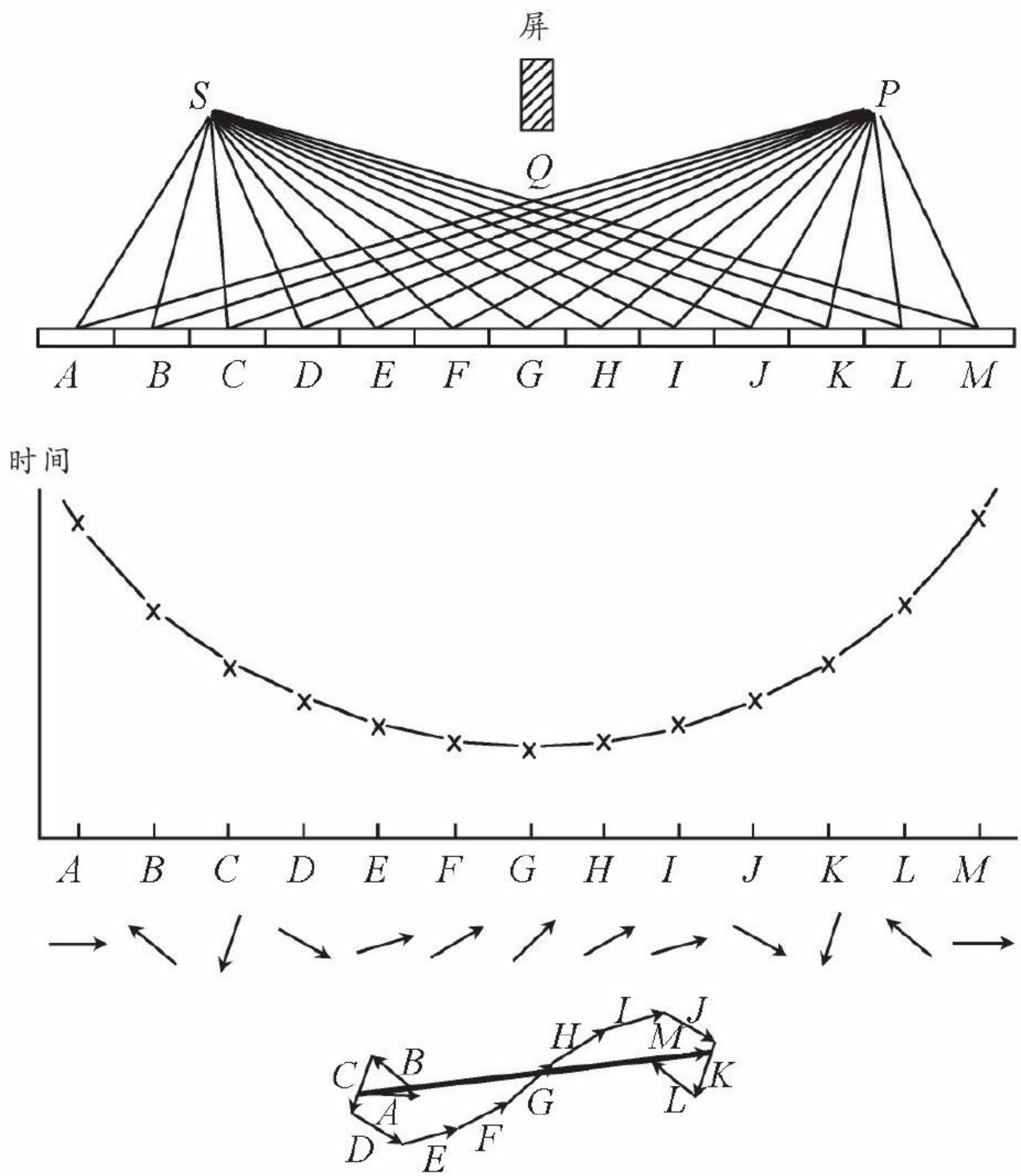


图24　光可能走的所有路径（在这个简化的情况下）见此图的上部，图上各点的正下方标出一个光子从光源途经镜上该点到达光电倍增管所需的时间。它的下面回的是每一个箭头的方向，最下面是所有箭头相加的结果。显然对最终箭头的长度做出主要贡献的是从E到I的箭头，由于这些路径的计时结果几乎相同，它们的方向也就几乎相同。这里也恰好就是所需时间最短的地方。所以，光走需时最短之路是大体不错的。

那么，这些小箭头的方向意味着什么呢？一个特定箭头的方向对应着光子从光源到探测器沿着该特定路线所需要的时间。我们回几个箭头，先从左方开始。路径A用的时间最长，它的箭头指向某个方向（见图24）。路径B用的时间与路径A不同，所以它的箭头方向也不同。在镜子的中部，箭头F、G和H指向几乎相同的方向，因为它们用的时间几乎相同。在通过镜子中央之后，我们看到镜子右侧的每条路径都对应着左侧的一条路径，二者所用的时间完全相同（这是我们把光源和探测器放在同一高度，并使路径G正好位于中央的结果）。这样，例如说路径J，它的箭头与路径D的箭头就有相同的方向。

好了，让我们把这些小箭头加起来（见图24）。从箭头A开始，我们把这些箭头一个一个头尾相接地勾起来。现在如果以每个小箭头为一步来散步的话，我们会发现，在开始时，散了半天步，我们也没从起点走出多远，因为每一步与它的下一步方向大不相同。但是过一会儿以后，箭头开始取大致相同的方向。这样，我们的散步就前进了一些。最后，在快散完步时，每一步与下一步之间，方向又开始明显不同——脚步又有点踉跄起来。

我们现在要做的事就是回最终箭头。只要把第一个小箭头之尾联上最后一个小箭头的头就行了。现在看看我们在散步时到底走了多远（图24）。看哪——我们得到一个相当可观的箭头！量子电动力学的理论预言，这个光确确实实从镜子反射出去。

好，现在来研究一下，是什么决定了这最终箭头到底有多长。我们注意到几件事情。第一，镜子的两端并不重要：在两端，这些小箭头转来转去，走不出多远。如果把镜子两端给砍掉——你可能早已直觉地感到我摆弄这两部分是在浪费时间——对最终箭头的长度不会有什么影响。

那么，镜子的哪部分对最终箭头的长度至关重要呢？那就是其代表

箭头取向大致相同的部分，因为走这些路径所需的时间几乎相同。如果看一下图24对每条路径所标出的时间，你就会发现，曲线底部路径的时间（那里的时间最短）大致是一样的。

总之，所需时间最短之处也就是附近路径所需时间大致相同之处；也就是小箭头指向基本相同，因而对最终箭头的长度做出实质性贡献之处；是决定光子从镜面反射概率之处。这也就是为什么在做近似处理时，我们可以心安理得地接爱一个粗糙的世界图像，即光仅走最短时路径（很容易证明，在所需时间最短之处，入射角等于反射角，但这里我没时间给你们证明了）。

这样，量子电动力学的理论给出了正确的答案——对于反射，镜子中部是重要部分——不过为得到这个正确结果，我们付出了很大代价，这就是相信光从镜子所有各处反射，并把这些小箭头统统加起来，而这么做的唯一目的是把它们相互抵销掉。也许在你们看来，所有这一切都是在浪费时间，不过是数学家的某种傻乎乎的游戏而已。毕竟，研究一些仅仅是为了将其抵销掉的东西，不大像是真正的“物理学”。

现在我们再做另一个实验，以考察整个镜子确实都在反射的思想。首先我们把镜子的大部分截掉，只留下左面的大约1/4。我们留下的这部分镜子不算小，只是位置不大适当。在以前讲的实验中，镜子左面部分箭头的指向相互之间差别很大，因为相邻路径之间，所需时间差别很大（见图24）。在这个实验中，我准备对这部分做比较详细的计算。我的作法是：在镜子左面的部分精心划出间隔，使邻近路径之间所需时间差不多（见图25）。从这个更细致的图可以看出，一些箭头多少都指向右方，另一些箭头则多少都指向左方。如果我们把所有箭头统统加在一起，那就是有一把指向四面八方的箭头——它们的指向实际上是绕着圆转了一圈，相加结果等于零。

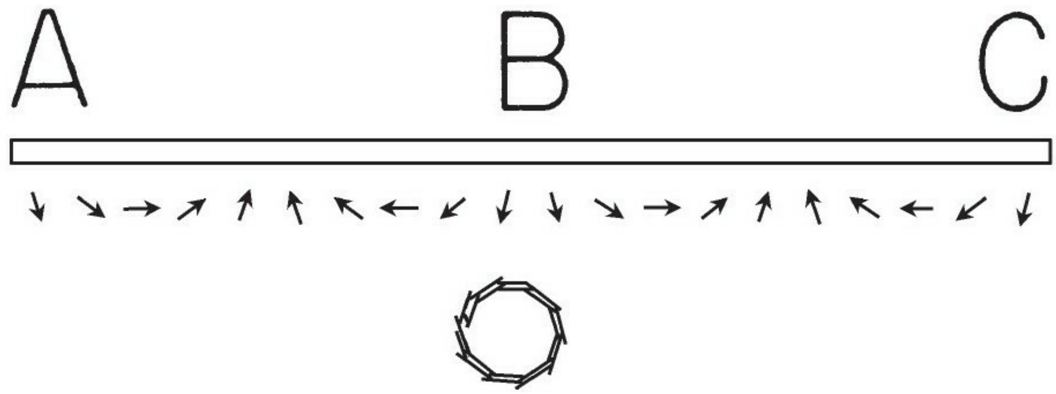


图25　为了检验镜子两端确有反射发生（只是它们恰好都给抵销掉了）这个思想，我们用一面大镜子做个实验，把这面大镜子放在对于从S到P的反射并不合适的地方。将这面镜子划分为相当小的小区域。这样沿一条路径所需的时间与相邻路径比起来相差无几。可是如果将所有这些箭头统统加起来，它们就一筹莫展了：这些箭头围成个圈，加起来几乎为零。

但是，假设我们仔细地刮去这面镜子中那些箭头偏向一方的（比如偏左方的）区域，这样，只有箭头指向偏右的区域留下来了（见图26）。如果把这些指向大致偏右的箭头加起来，我们就得到一连串的洼和一个指向偏右的很大的最终箭头——根据量子电动力学理论，这意味着现在该有一个强反射！果然，我们就得到了强反射——这个理论确实是正确的！这样的镜子叫作衍射光栅，它工作起来真像一面魔镜。

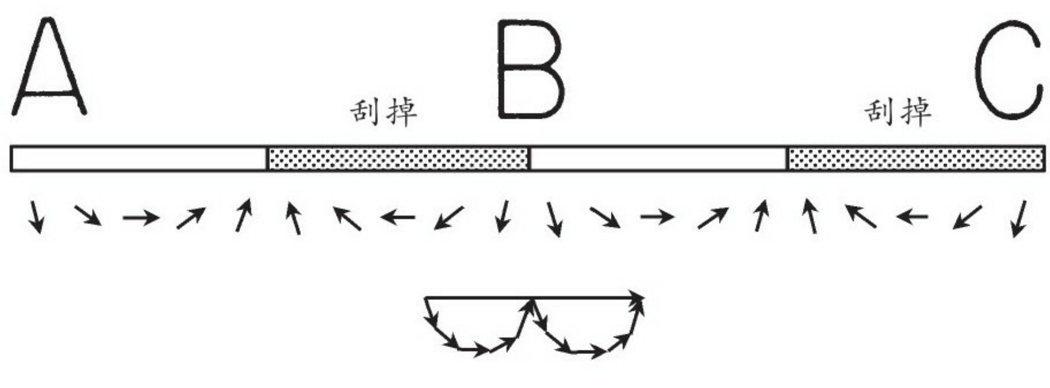


图26　如果将只偏某一指定方向（比如偏右）的箭头相加，而其他箭头都不考虑（由于它们代表的那部分镜面已被蚀刻掉），那么位于不恰当位置的这面镜子也会反射大量的光。经过这样蚀刻的镜子叫作衍射光栅。

这不是妙极了吗？——你把一面镜子放在你本不指望它会有任何反射的地方，只把它的某种部分给刮下来，它居然反射了。[1]

我刚才给你们看的那片光栅是为红光制作的，对于蓝光，它就不起作用了；要想用于蓝光，得做新光栅，这时蚀刻掉的条纹彼此间要挨得更近些，因为正像我在第一讲中告诉你们的，秒表对蓝光子记时的时候，表针要转得比对红光子快些。所以，那些特地为“红”转速设计的刻纹位置对于蓝光就不适用了。这时箭头会缠绕在一起，光栅就工作不灵了。但是，也有事出意外，如果我们把光电倍增管移到某个不同的角度，为红光制造的光栅就可以为蓝光工作了。这真是个幸运的意外——它是几何学干预的结果（见图27）。

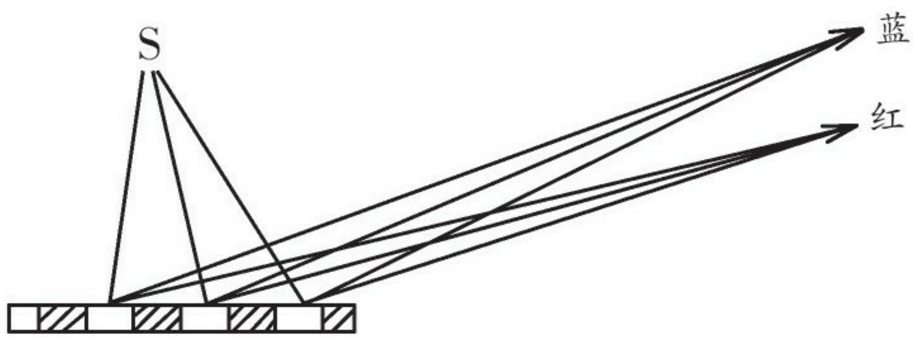


图27　如果把探测器换个地方，刻痕距离适合于红光的衍射光栅也可以为其他色光工作。这样，我们就有可能看到从刻有纹路的表面（如唱片）反射的不同颜色，至于看到何种颜色，则取决于角度。

如果你把白光射到光栅上，红光会从一个地方射出来，稍微靠上一点的是橙色光，然后是黄、绿、蓝色光——虹的全部颜色都会出现。如果白光从适当角度照射到一列密集的沟纹上——比如一张唱片（或者录相盘就更好），人们常常能够看到七彩的颜色。大抵你们已经见过那些美妙的银色标记（在阳光充足的加利福眉亚，人们常把它们贴在车尾）：当汽车移动时，你们会看到非常鲜艳的颜色由红至蓝地变化。现

在你们知道颜色是从哪里来的了：你们正在观看一个光栅——一面某些部分被恰到好处地处理掉了的镜子。太阳是光源，你的眼睛则是探测器。我还可以很容易地继续解释激光和全息图如何工作，不过我知道并不是所有的人都见过这些东西，而我还有许许多多的内容要讲，这个题目就到此为止吧！[2]

光栅的例子说明了，我们不能忽视镜子上那些似乎不能进行反射的部分；如果对镜子做一些巧妙的处理，我们就能演示反射确实来自镜子各部分的这个事实真相，并制造出一些惊人的光学现象。

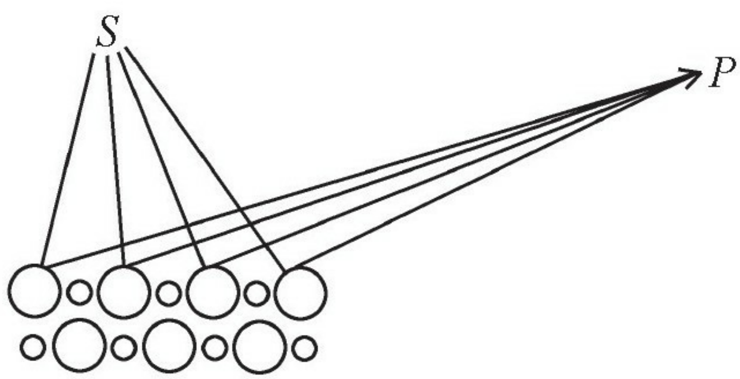


图28　自然界以晶体的形式制造了许多类型的衍射光栅。一个盐晶体以各种不同角度反射X射线（对X光记时的时候，想象中的秒表针转动得极快——恐怕比可见光要快10000倍），从这些角度可以精确地确定各原子的排列和间隔。

更重要的是，演示镜子所有部分都进行反射这个事实真相说明了，事件发生的每种可能的方式都有一个振幅。而且为了正确计算在不同情况下一个事件发生的概率，我们必须把代表事件发生的所有可能方式的箭头都加起来，而不是只加我们认为重要的那些箭头。

下面，我想讲讲比光栅更为人熟悉的现象——关于光从空气进入水中的现象。这次，我们把光电倍增管放在水下——假定实验员能够安排好这些事。光源是在空气中的S处，探测器是在水下的D处（见图29）。我们再次计算一个光子从光源到达探测器的概率。为了做这个计算，我们应该考虑光行进的所有可能路径。光行进的每一条可能路径都

贡献一个小箭头，而且，同上面的例子一样，所有的小箭头长度都大致相同。我们可以再次绘制一张标明光子以通过各可能路径所需时间的曲线图。这个图的曲线将同我们原来绘制的光从镜面反射的那个图的曲线很相似：它始于最高点，然后向下，再返回向上；最重要的贡献来自箭头指向几乎同一方向的那些地方（在那里，一个路径与相邻路径所需时间相同），这就是曲线底部所对应的地方。这里也是所需时间最短的地方，所以我们要做的就是找出哪里是需时最短之处。

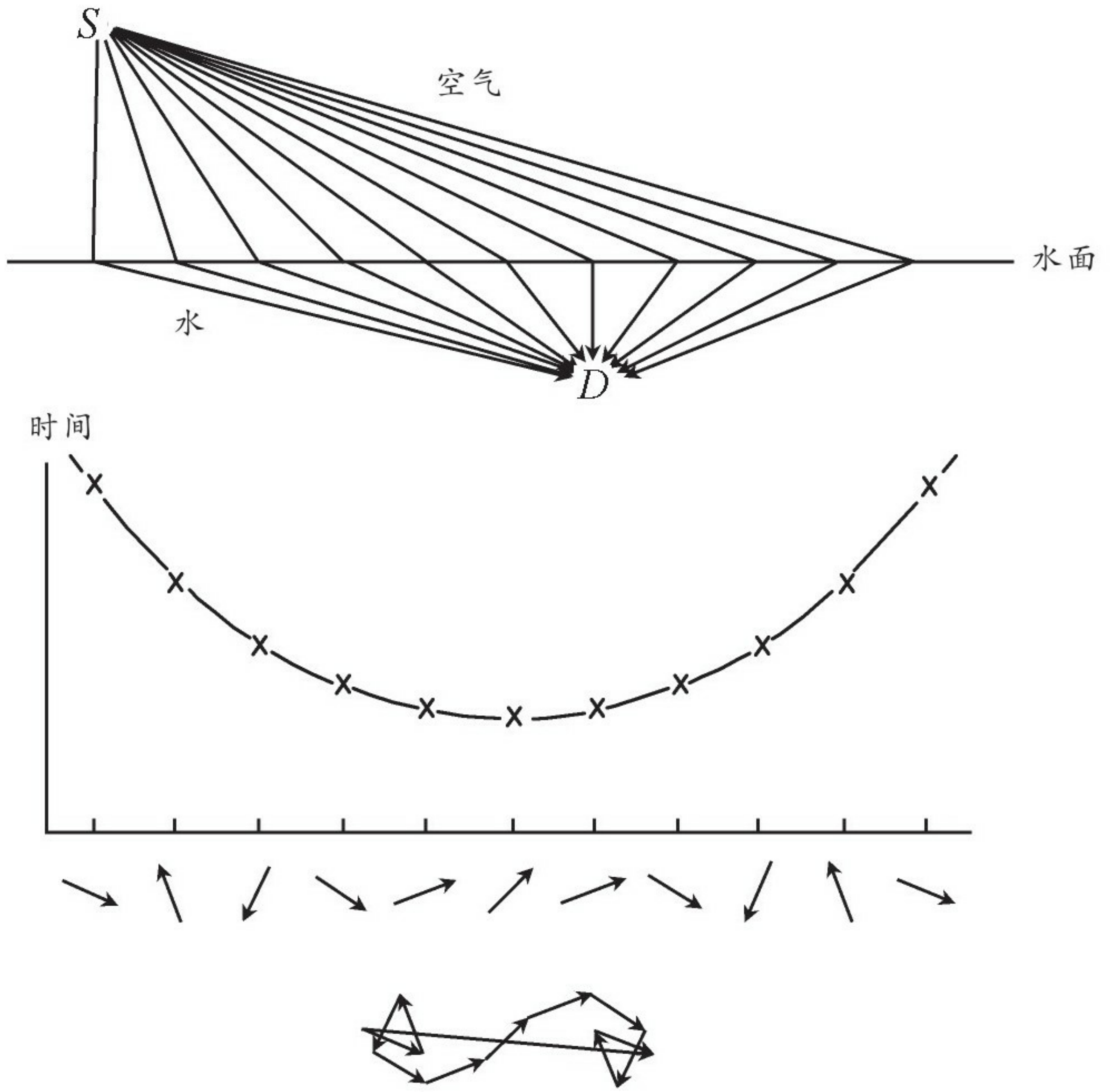


图29　量子理论告诉我们，光从空气中的光源到水中的探测器可有多种方式。如果把这个问题像前面处理镜子问题那样做简化处理的话，我们就可以回出一张各路径所需时间图，每个路径的下方标出与之对应的箭头的方向。我们再一次看到，对于最终箭头的长度做出主要贡献的，还是那些其箭头几乎指向相同（由于它们的计时几乎相同）的路径，而且再次看到，这是需时最短之处。

原来，光在水中行进看来要比在空气中慢些（在下一讲中，我将要解释为什么），这就使得光在水中通过的距离比在空气中通过的距

离“昂贵”些（姑且用这个词吧）。要找出哪条路径需时最短并不难：假定你是游泳池救生员，坐在S处，这时在D处一个漂亮的姑娘快要淹死了（见图30）。你在陆地上跑要比在水中游泳快得多。问题是，为了最快到达那位出事的姑娘身边，你应该在何处入水？你会在A处入水，然后拼命游泳吗？当然不！但是你笔直地奔向出事人，在J处入水也并不是最快的路径。在这种人命关天的紧急当口，救生员如果先来一番分析、计算，那就太蠢了，但是可以估计出一个位置，从那里入水，用的时间最短：即在直路（过J点）和水中最短的路（过N点）之间的一条折中路径。光的情况一样——最短时间路径的入水点在J和N之间，比如L。

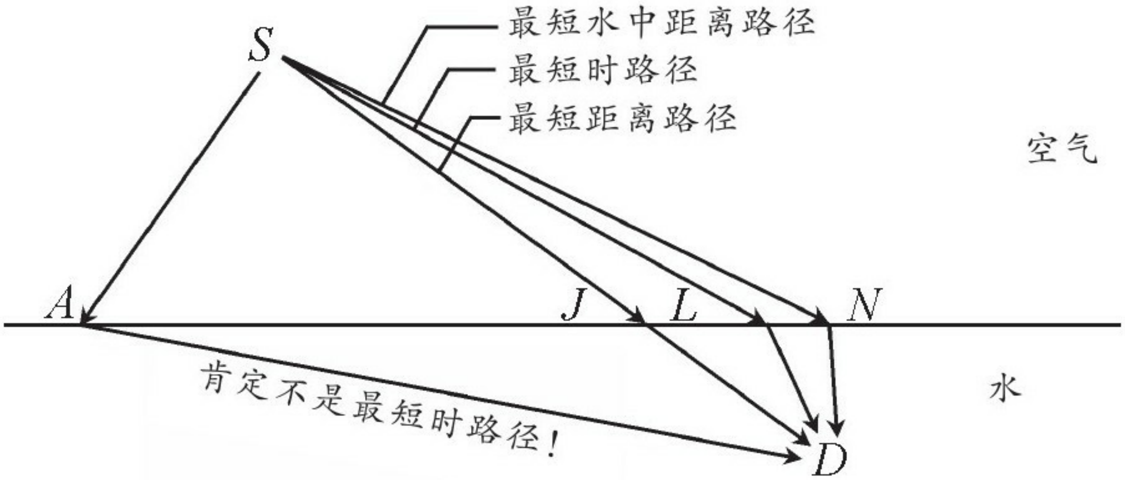


图30　要找出光以最短时间通过的路径，就像救生员要选择一条费时最少的路径去救人一样。这时他需要在陆地上跑一段，然后在水中游一段：距离最短的路径，需要游泳太多；需游泳最少的路径，在陆地上跑的路又太长；费时最少的路径是在这两者之间。

这里我想简短提一下另一个光现象，那就是海市蜃楼。在一条很热的路上开车时，有时你能够看到路上有水一样的东西。你实际看到的是天空。一般情况下，能看到路面上呈现天空，是因为路面上汪着水（光被单表面部分反射）。但路面上没有水时，你怎么能够看到天空在路面

上呢？你们要知道，光在较冷的空气中行进得比在较热的空气中慢些。在看到海市蜃楼时，紧贴路面一定有层热空气，观察者则站在这层热空气之上的较冷空气里（见图31）。只要找出最短时路径，就可以理解为什么低头向下看居然就能看到天空——怎么居然会这样呢？我请你们回去拿这个问题消遣消遣——想想问题是很有意思的，而且这问题也容易想出来。

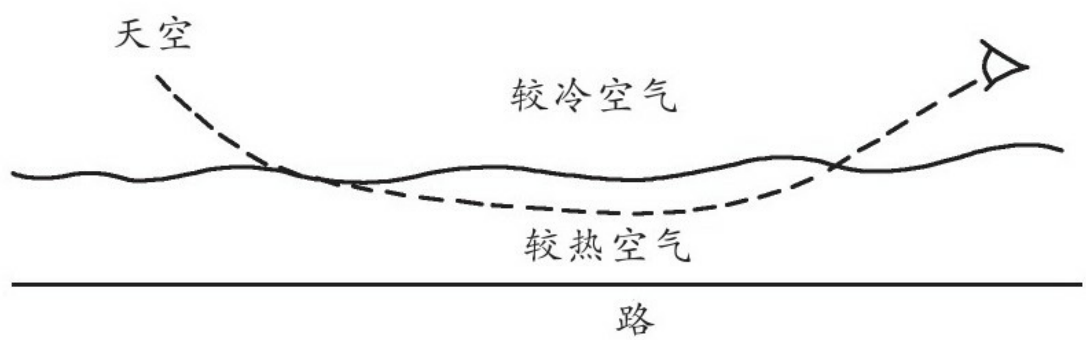


图31　求出最短时路径可以解释海市蜃楼是怎么回事。光在热空气中比在冷空气中行进得快些。天空似乎在路面上是因为来自天空的一些光从路面反上来到达我们的眼睛。天空似乎在路面上唯一的另一种情况就是路面上的水对天空的反射。这时的海市蜃楼就呈现在水面上。

在上面讲的光从镜子反射及光通过空气后入水的例子里，我做了近似处理：为了简单起见，我把光可能走的每条路径都回成了衔接在一起的两段直线——构成一个角的两直线。但事实上，并不是非得假设光在空气或水这类均匀介质中走直线不可；量子理论的一般原理——即一个事件发生的概率的计算方法是把代表这个事件发生的所有可能的方式的箭头都加起来——甚至可以解释光为什么走直线。

所以，在下面这个例子里，我准备让你们看一看，把小箭头加起来怎么就能显示出光沿直线前进。我们把光源和光电倍增管分别放在S和P处（见图32），看看光从光源到探测器所能走的所有路径——包括所有各种弯路。我们给每条路径回个小箭头。好，现在请仔细听。

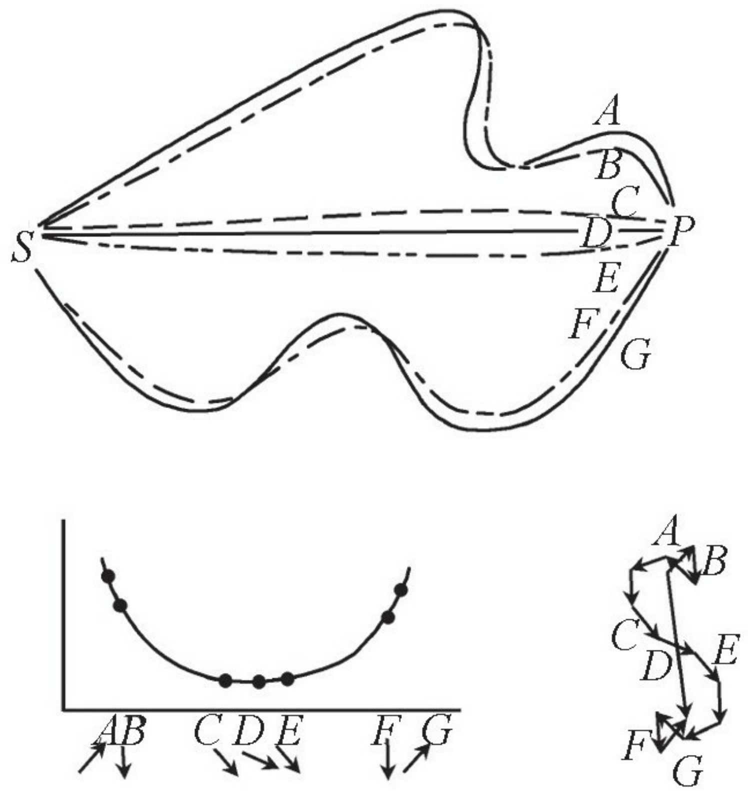


图32　量子理论能够用来说明光为什么看来是走直线的。在考虑所有可能路径时，每一条弯路都会有一条与之邻近，但距离短得多、费时也少得多（因而箭头方向大不相同）的路。只有在经D点的直线路径周围的那些路径，它们的箭头才有大致相同的方向，因为它们用的时间几乎相同。只有这些箭头才是重要的，因为靠它们我们才最终累积起一个大箭头。

对于每一条弯路，例如路径A，都有一条和它紧邻、但比它稍直一点，也显然比它短的路——就是说，走这条稍直的路所需时间显然短得多。但是，在路径几乎变直的那些地方——例如，在C处，与它紧邻而稍直的路径所需时间与它几乎相同，正是在这些地方，箭头相加时，是相长而不是相消，这正是光行进的路径。

有一个很重要的问题应该注意，即在计算光从光源出发到达探测器的概率时，只计及代表通过D点的直路的那孤零零一个箭头是不够的（图32）。像通过C和E的那些相当接近直线的途径也都对概率做出重要贡献。所以，光并不真是只沿一条直线前进；它能“嗅出”与之邻近的

那些路径，并在行进时，占用直线周围的一个小小的空间。（同样的道理，为了能正常反射，镜子也一定要有足够的大小：如果镜子小得无法容纳直线路径周围的邻近路径，那么，无论你把镜子放在何处，光都将沿许多方向散射。）

我们现在比较仔细地研究一下这一小束光：把光源放在S处，光电倍增管放在P处，S与P之间安放一对屏板，以防光路太散（见图33）。我们把第二个光电倍增管放在P下面的Q处，而且为简单起见，我们再次假设，光只沿由成一角度的两段直线构成的路径从S到达Q。好，我们看会怎么样呢？在两屏板之间的距离大得足以容纳多条彼此靠得很近的到达P和到达Q的路径时，到达P点诸路径的箭头相加时是彼此相长（因为所有到P点的路径都需要几乎相同的时间），而至Q点路径的箭头却都彼此相消（因为这些路径所需的时间大不相同）。所以，Q点的光电倍增管就不会作响。

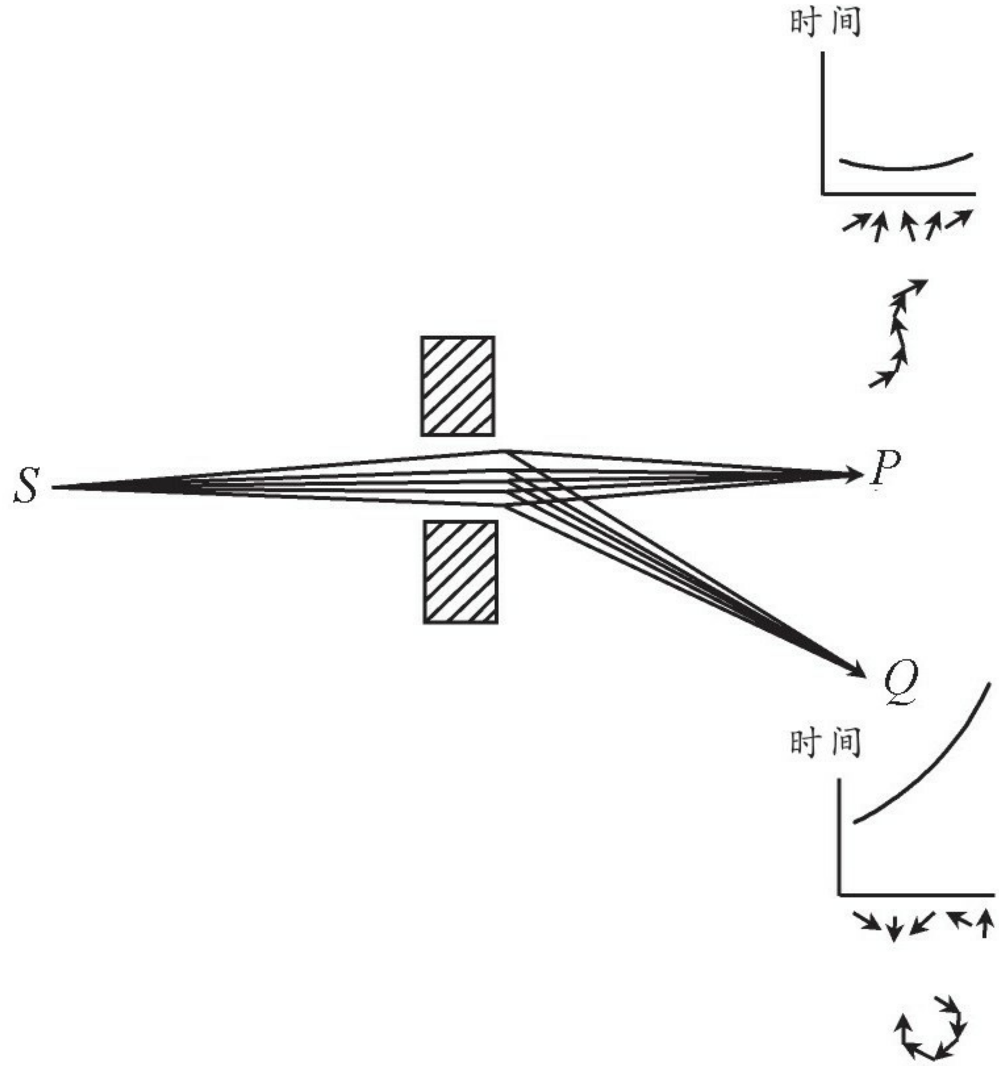


图33　光并不是只沿直线前进，它也沿直线周围的路径前进。如果两屏板之间距离宽得足以使这些邻近路径通过的话，那么光子一般是到达P，几乎不到达Q。

但是，让我们把两个屏板推得彼此越来越接近，当接近到某一程度时，Q处的探测器就开始作响！在两屏板间的空隙小到几乎要合拢，因而只有很少几条紧邻的路径可以通过时，到Q点的那些箭头也彼此相长了，因为它们所需时间也几乎没有差别（见图34）。当然，P、Q两处的最终箭头都是很小的，就是说无论是到P还是到Q都没有多少光通过这个小孔，而Q处探测器作响的次数几乎和P处的一样多！所以，当你试图把光路挤压得极窄以确定光只走一条直线时，光会由于你挤压得太

窄而拒绝合作，并开始散射开来。[3]

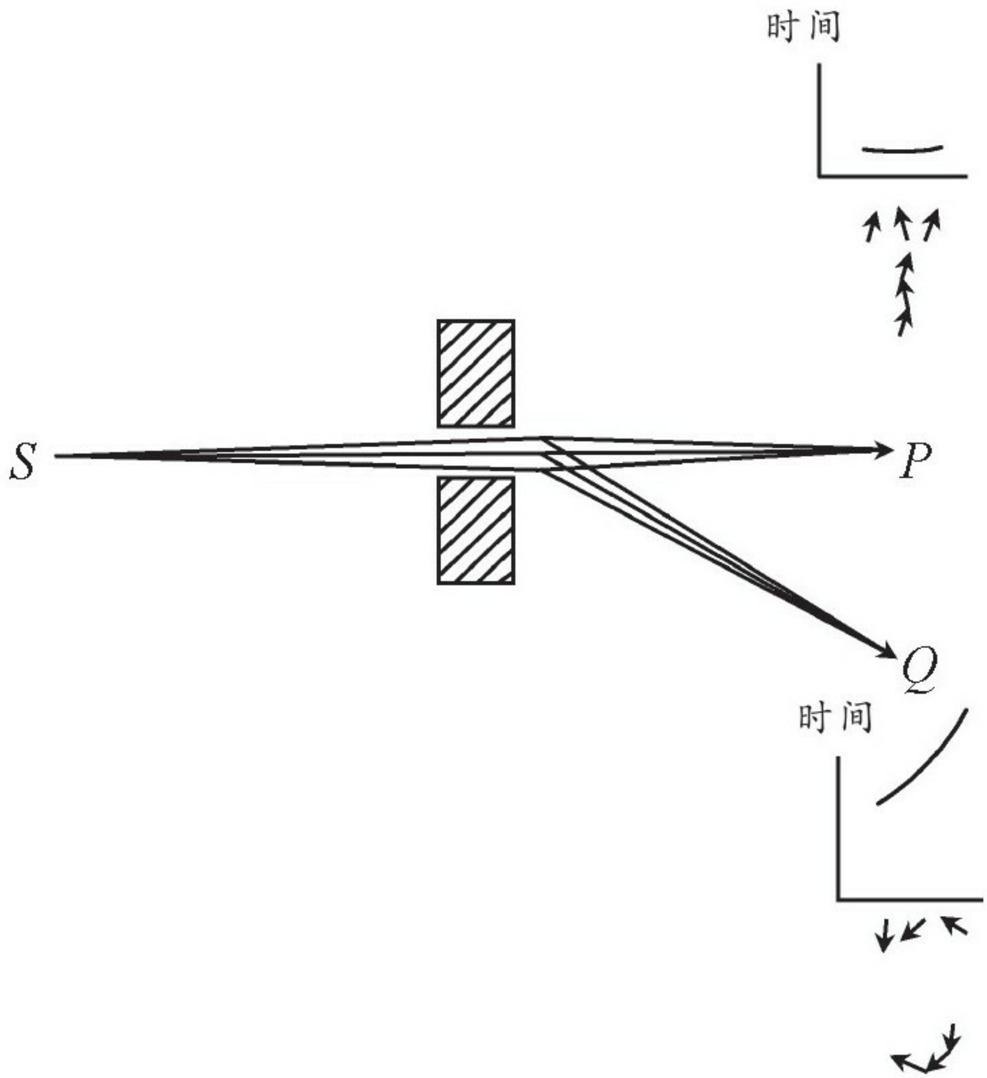


图34　如果光被拘束得很厉害，只有很少几条路可走时，在得以通过窄缝的光当中，到达Q的同到达P的几乎一样多，因为代表到达Q点的几条路径的箭头已经少到没什么可抵销的了。

所以说，光沿直线前进，只是一种习惯性的近似说法，用以描述我们熟知的自然界发生的事情；同样的，当我们说光从镜子反射，入射角等于反射角时，这也只是个粗略的近似。

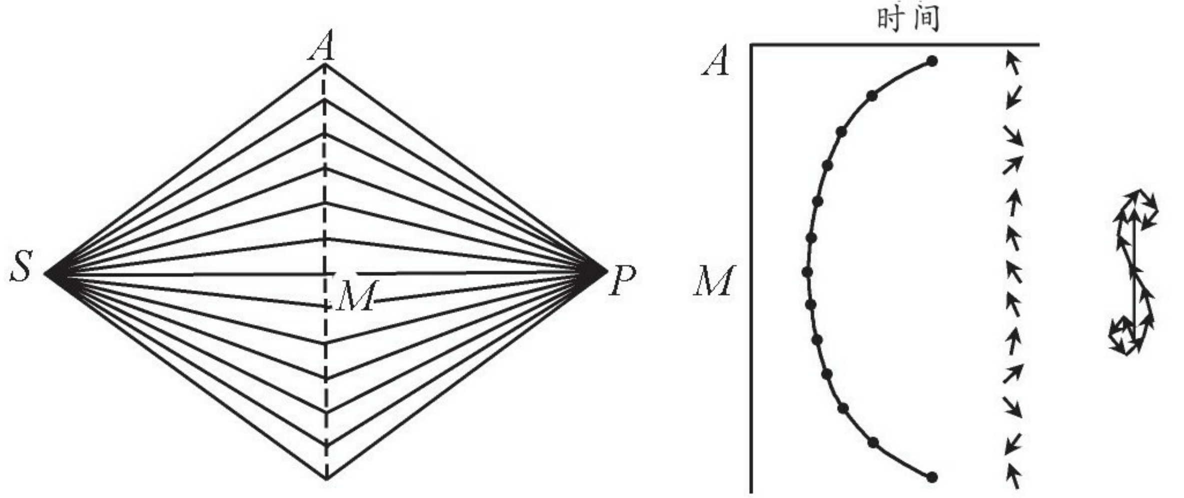


图35　我们把对从S至P所有可能路径的分析简化为只分析由许多成对的两直线构成的路径（都在同一平面上）。结果同较复杂的真实情况一样：那是一条有极小值的时间曲线，极小值处对最终箭头贡献最大。

正像我们能用聪明的小窍门使光从镜面上以多种角度反射出来一样，我们也能用类似的窍门使光从一点经多条途径到达另一点。

首先，为了使情况简化，我在光源和探测器之间回一条竖直的虚线（它没有什么意义，只是一条人为的线，见图35），并声明我们要考察的只是那些由成对的两直线构成的路径。图35表明，看来，每条路径的所需时间同镜面反射的情况一样（只是这次我把所需时间在旁边回出来）：这条曲线始于顶端的A，然后往内弯，因为中间的路径比较短，所以用的时间较短，最后这曲线再向外弯出来。

现在我们来做件好玩的事，让我们“骗骗”光：想个办法使所有这些路径都用完全相同的时间。怎样才能做到这点呢？我们怎样才能使经过M的最短路径和经过A的最长路径用完全相同的时间呢？

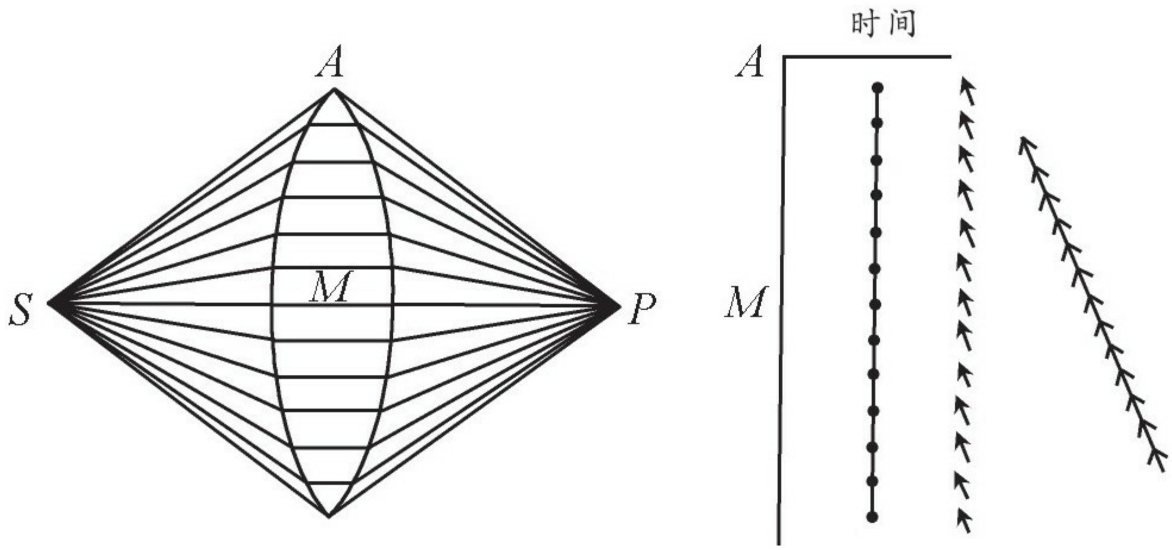


图36　让较短路径上的光放慢速度，是我们可对自然界要的一个“花招”：将厚薄刚好适当的玻璃插入光路，使所有光路都需用完全相同的时间。结果所有箭头都指向同一方向，造成一个异常巨大的箭头——有大量的光通过。这种使光从光源到达另外单独一个点的概率大大增加的玻璃叫作聚焦透镜。

好，我们看，光在水中行进得比在空气中慢些；它在玻璃中也比在空气中慢些（用玻璃我们就好控制多了）。这样，如果在通过M的最短程处放置一厚薄适当的玻璃，我们就能使光走这条路用的时间与通过A的那条路径用的时间完全相同。与M邻近的那些路径，它们只是稍长了一点，玻璃不需要和M处玻璃一样厚（见图36）。离A越近，用来使光放慢速度的玻璃就越薄。如果对于每条路径，都把用于补偿光通过时间的玻璃的厚度计算出来，并按厚度把玻璃放上去，我们就能够使所有时间都相同。对于光可能走的每条路径都回出箭头，就会发现，我们已经一个接一个地把箭头都弄直了——确实有亿万个小箭头——所以纯结果是个意想不到的、大得惊人的最终箭头！当然，你知道我在这里讲的是什么：这就是聚焦透镜。如果安排得当，使所有的时间都相等，我们就可以把光聚焦——就是说，能以相当高的概率使光到达一指定地点，而到达任何其他地方的概率则很低。

我用这些例子向你们说明了，量子电动力学的理论初看起来是怎样的无缘无故和荒诞无稽，没有机制，一点儿也不真实，但它得出的结果却是你们大家都熟知的：光从镜面的反弹，光从空气进入水中时的弯曲，以及光被透镜聚焦。它还能得出其他你们也许见过、也许没见过的结果，比如衍射光栅等。事实上，这个理论在解释光的所有现象时都一直是成功的。

我已经用几个例子给你们讲了，如何计算能以多种可择方式发生的一个事件的概率：对一个事件发生的每一种可能方式回一个箭头，然后将所有箭头加起来。“把箭头加起来”的意思是使这些箭头首尾相连地接起来，然后回出“最终箭头”。最终箭头的平方就是这个事件发生的概率。

为了让你们再好好品尝品尝量子理论的风味，我现在给你们讲讲物理学家如何计算复合事件的概率——复合事件是可被分为一系列步骤的事件，或是由数个独立发生的事情所组成的事件。

把我们的第一个实验——将几个红光子射向一块玻璃的单表面来测量部分反射——略加修改，就是一个复合事件的例子。现在我们在A点不放光电倍增管（见图37），而是放一个带孔的屏板，使到达A点的光子通过这个孔。然后在B点放置一块玻璃，在C点放一个光电倍增管。我们怎样才能求出一个光子从光源到达C的概率呢？

这个事件可以分作先后两步来考虑。第一步：一个光子从光源经玻璃的单表面反射到达A；第二步：这个光子从A经B处的玻璃反射而到达C处的光电倍增管。这两步中的每一步都有一个最终箭头——即“振幅”（我准备交替使用这些词），我们可用迄今我们所知道的规则把这两种最终箭头计算出来。第一步的振幅长度是0.2（它的平方是0.04，这就是光子从玻璃的单表面反射的概率），它转的角度是——例如说，转到2点钟（见图37）。

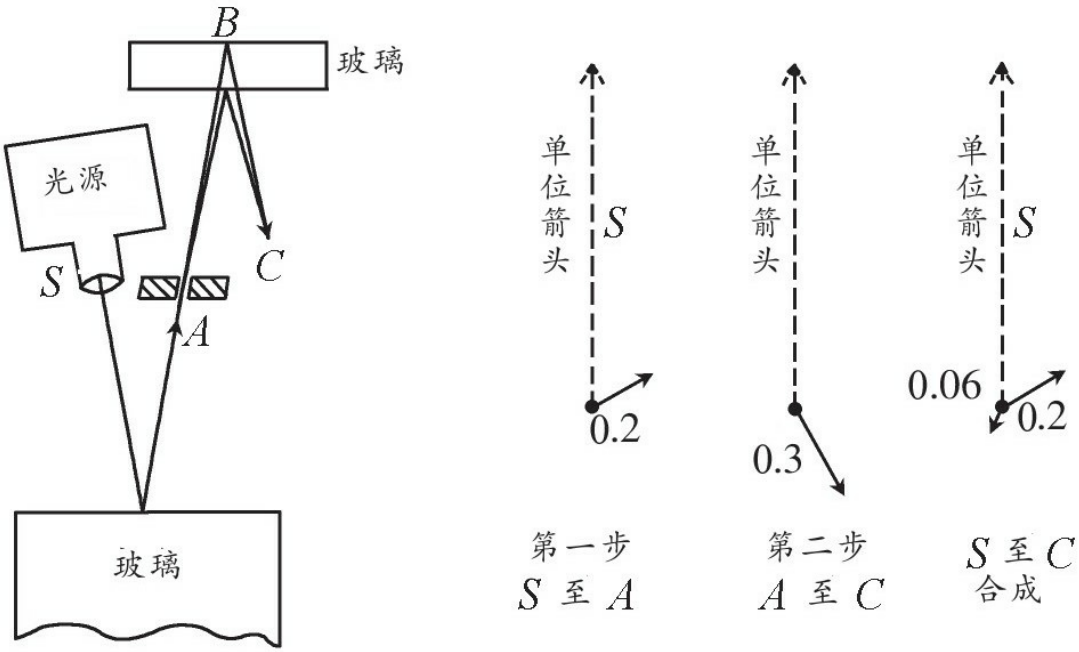


图37　一个复合事件可以分解为一系列相继步骤。在这个例子里，光子从S到C的路径可分为两步：①一个光子从S到A；②这个光子再从A到C。这两步可以分开来分析，每一步的结果是一个箭头，我们可以用新眼光来看待这个箭头：把它看作是由一个单位箭头（长度为1、指向12点钟的箭头）缩短和旋转得到的。在这个例子里，第一步是缩短至0.2，转到2点钟；第二步是缩短至0.3，转到5点钟。要得到这先后两步的振幅，就要相继地缩和转：一个单位箭头缩至0.2，转到2点钟，之后，把这得到的箭头作为单位箭头，再缩至0.3，转到5点钟，最后得到的是一个长度为0.06、指向7点钟的箭头。这个连续缩、转的程序就叫“箭头相乘”。

为了计算第二步的振幅，我们暂时把光源放在A，将光子瞄准A上方的那片玻璃。回出从前后两表面反射的箭头，并将它们加起来——比如说，最终箭头的长度为0.3，它转的角度是5点钟。

好，我们怎样才能将这两个箭头合起来回出整个事件的振幅呢？我们以一种新方式看待这两个箭头：把它们看成是一个缩短和旋转的指令。

在这个例子里，第一个振幅的长度是0.2，并指向2点钟的方向。若

从“单位箭头”——长度为1、指向上方的箭头——开始，我们可把它的长度从1缩短到0.2，并将它的指向从12点钟旋转到2点钟。第二步的振幅可以想象为将单位箭头从1缩短到0.3，并将它从12点钟转到5点钟。

好，现在我们把这两步的振幅合起来，即接连两次缩短并旋转。第一次，我们将单位箭头从1缩短至0.2，然后将它从12点钟的方向旋转到2点钟；接着，进一步将0.2缩短至0.2的3/10，再旋转一个相当于从12点钟到5点钟的角度——就是说从2点钟旋转到7点钟。最后我们得到一个箭头，它的长度为0.06，指向是7点钟。它所代表的概率是0.06的平方，即0.0036。

仔细观察这几个箭头可以看出，连续缩短和旋转两个箭头等同于将两者的角度相加（2点钟加上5点钟），而将它们的长度相乘（0.2×0.3）。要理解为什么要将角度相加是容易的：箭头的角度取决于想象中记秒表指针旋转的多少。这样，接连两步的旋转总和就只不过是第一步的旋转量与第二步再次旋转的量之和。

关于为什么我们把这过程叫作“箭头相乘”，我想稍微多解释两句，费点时间，但很有意思。让我们先从古希腊人的观点，看看什么是乘法（这与我们这个讲座没有什么关系）。古希腊人想使用一些并非一定是整数的数，所以他们用线段来代表数。任何一个数都可以用单位线段的变换——将它展长或缩短——来代表。例如，如果线段A是单位线段（见图38），则线段B代表2，线段C代表3。

那么，我们怎样表示3乘以2呢？方法就是连续变换。开始，我们以线段A作为单位长度，将它展长2倍，再展长3倍（或者先展长3倍，再展长2倍——先后顺序没有关系）。结果就得到线段D，它的长度代表6。那么1/3乘以1/2又怎么办呢？这次，我们以线段D为单位长度，把它缩短到1/2（成为线段C），再将线段C缩短到1/3，结果就是线段A，它代表1/6。

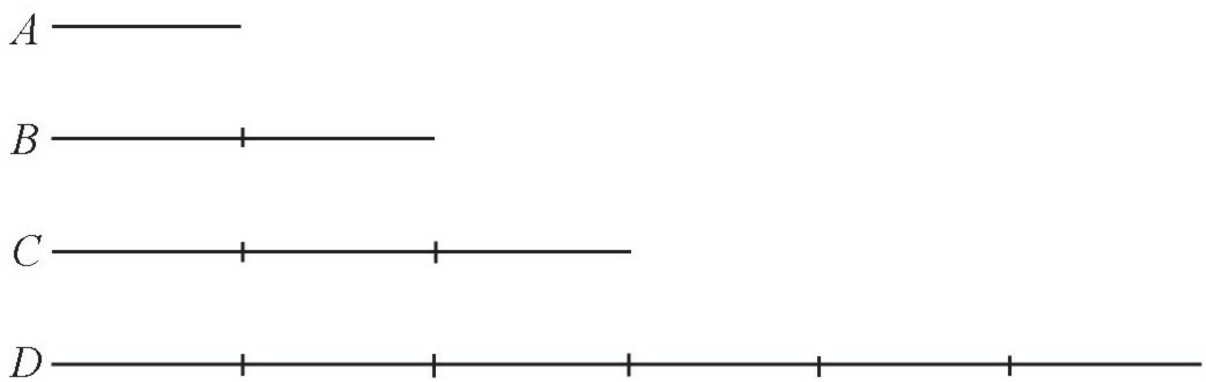


图38　将一个单位长度展长缩短，改造一番，我们就可以表示任何一个数。若A是单位长，B就代表2（展长），C就代表3（展长）。通过连续变换可达至线段相乘。比方，3乘以2就意味着将单位长展3倍再展2倍，得到的答案是展长到6（线段D）。若D是单位长，线段C就代表1/2（缩短），线段B代表1/3（缩短），而1/2乘以1/3意味着单位线段D缩短到1/2，然后再将1/2缩短到它的1/3，得到的答案是缩短到1/6（线段A）。

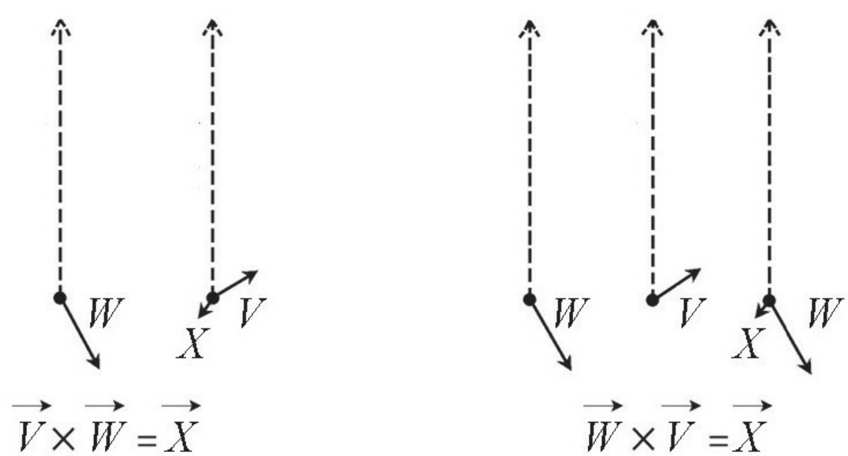


图39　数学家发现箭头相乘也可用单位箭头的变换（在这里，是缩短和旋转）来表示。通过连续变换就可将箭头相乘。同普通乘法的情况一样，先后顺序并不重要：箭头V乘以箭头W或箭头W乘以箭头V得到的答案都是箭头X。

将箭头相乘的作法是一样的（见图39）。我们对单位箭头施行连续变换——只是每次变换涉及两个动作：缩短和旋转。为了让箭头V乘以W，我们先将单位箭头按V的规定量缩短并旋转，然后按W的规定量缩短并旋转——再说一次，顺序无所谓。这样看来，箭头相乘时所遵从的连续变换规则同普通数字相乘时的一样。[4]

现在让我们把相继步骤这个概念记在脑子里，返回头去看看第一讲中的第一个实验——单表面的部分反射（见图40）。我们可将反射的路径分为三步：

1.光从光源向下到玻璃；

2.被玻璃反射；

3.从玻璃向上到探测器。每一步都可以看作是单位箭头的一定量的缩短和旋转。

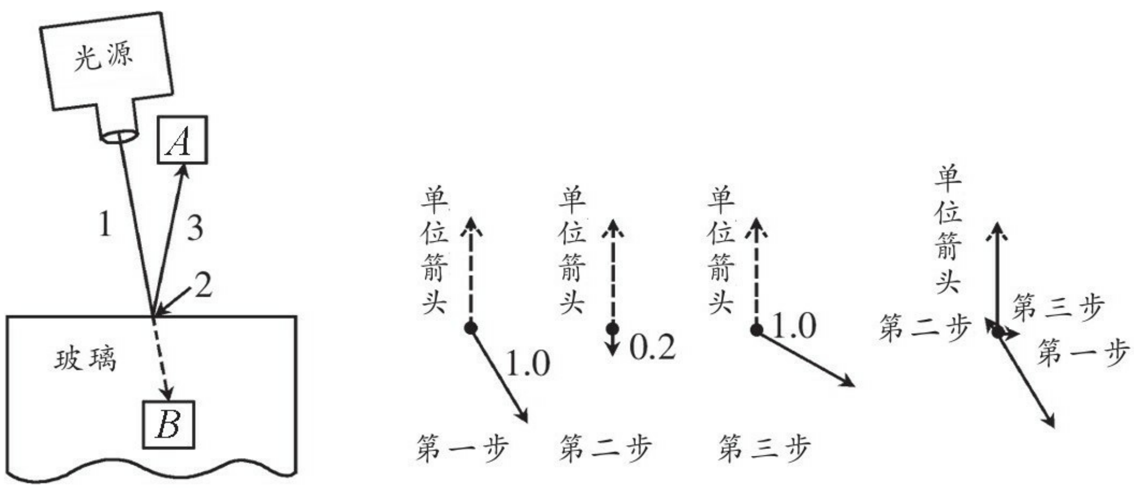


图40　单表面的反射可分成三步，每一步都是一个单位长度的缩短和（或）旋转。纯结果——长度为0.2的指向某个方向的箭头——是一样的，但我们现在的分析方法却细致多了。

你们会记得，在第一讲里我们并没有考虑光从玻璃反射的所有可能的途径——要考虑所有途径，我们就得回出许许多多的小箭头，并将它们相加。为避免所有这些细节，我给了你们这样一个印象，即光是向下到达玻璃上的某一特定点——光并不散开。但当光从一点走到另一点时，它事实上是散开了（除非它为透镜所哄骗），这个过程伴随着单位箭头的某种缩短。不过，暂时我还愿意坚持光并不散开这个简化的观

点，这样就可以不考虑这种缩短。同时，由于光不散开，我们也可以假设每个离开光源的光子都会终止于A或B。

这样，在第一步里，没有缩短，但有旋转——它对应着想象中的秒表在对一个光子从光源到达玻璃前表面计时时指针所旋转的角度。在这个例子里，这第一步的箭头长度为1，指向某个角度——例如说，5点钟的角度。

第二步是光子为玻璃所反射。这里有个相当可观的缩短——从1到0.2——和半圈的旋转。（这些数字在现在看来是荒唐可笑的：它们取决于是为玻璃还是为其他物质所反射。在第三讲中我还要讲这个问题！）这样，第二步就由长度为0.2、方向为6点钟的指向（半圈）所代表。

最后一步是光子从玻璃返上来到达探测器。这里，和第一步一样，没有缩短，但有旋转——比如说，这次光子走的距离比第一步略短点，箭头指向4点钟。

我们现将箭头1、2、3连续相乘（角度相加、长度相乘）。这三步——①旋转；②缩短并旋转半圈；③旋转——的净效果和第一讲中的一样：第一步和第三步的旋转量（5点钟加4点钟）同我们让记秒表记录光跑完全程得到的旋转量（9点钟）是一样的；第二步另转的半圈则使箭头的指向与秒表针的方向恰好相反，这与第一讲中讲的情况完全一样。在第二步中箭头缩至0.2，使我们得到长度为0.2的箭头，它的平方就代表了单表面情况下观测到的部分反射率4%。

在这个实验中，有一个问题，我们在第一讲中没有讨论，这就是跑到B处的光子——被玻璃透射的那些光子——怎么样呢？光子到达B处的振幅，其长度必须是0.98左右，因为0.98×0.98=0.9604，它相当接近于96%。这个振幅也可以分为若干步骤来分析（见图41）。

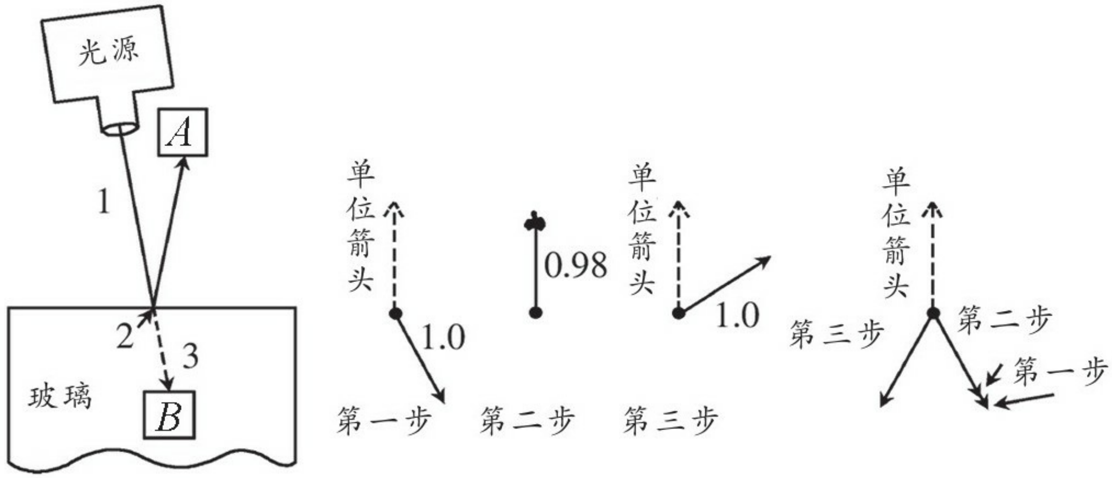


图41　单表面的透射也可分为三步，伴随每一步的都是一个缩短和（或）一个旋转。一个长度为0.98的箭头，其平方约为0.96，这表示透射概率为96%（将它同4%的反射概率加起来，共是100%的光）。

这第一步和到A的路径的第一步一样——光子从光源向下到玻璃上——单位箭头转到5点钟。

第二步是光子穿过玻璃表面——透射时，箭头无须旋转，只是缩短一点——缩至0.98。

第三步——光子穿过玻璃的内部——这涉及一个附加的旋转而无缩短。

最后的净结果是，长度为0.98的箭头旋转到某个方向，它的平方代表一个光子到达B的概率——96%。

现在让我们再来看看两表面的部分反射。前表面的反射与单表面的反射相同，所以前表面反射的三步就同我们刚才看到的一样（见图40）。

后表面的反射可以分解为七步（见图42）。它包括旋转和缩短。旋

转是记秒表在对光子全程（第一、三、五、七步）记时的时候，记秒表针旋转的总量，缩短是先缩至0.2（第四步），还有两次都是缩到0.98（第2、6步）。结果箭头的方向与原来的一样，但长度大约为0.192（0.98×0.2×0.98），它与第一讲中我说的0.2很接近。

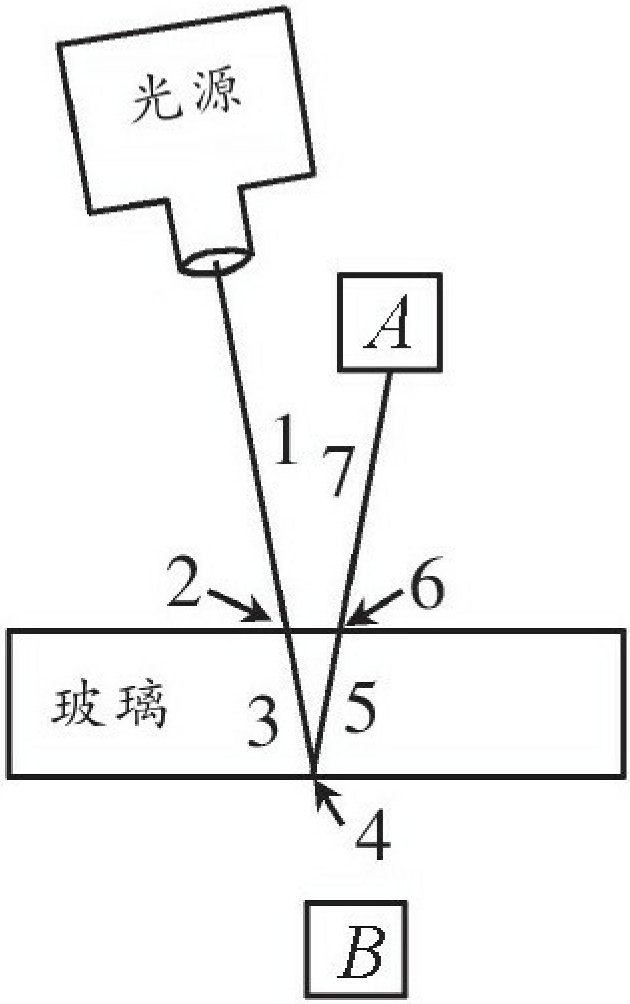


图42　从玻璃后表面的反射可以分为七步：第一、三、五和七步仅有旋转；第二、六步都缩至0.98，第四步则缩至0.2。结果是一个长度为0.192（它与第一讲中的0.2很接近）的箭头——旋转的角度相当于想象中的记秒表指针旋转的总量。

综上所述，玻璃对光的反射和透射的规则是：1）光通过空气至玻璃前表面再返回空气的反射包括一次缩短至0.2和旋转半圈；2）光从玻

璃后表面反射再返回玻璃，这也包括一次缩短至0.2，但没有旋转；3）从空气到玻璃或从玻璃到空气的透射都包括一次缩短至0.98，在这两种情况下都没有旋转。

好事讲得太多了恐怕也不太好。不过我还是禁不住要给你们再举一个绝妙的例子，说明事情是如何进行的，以及如何使用这些相继步骤的规则对它们进行分析。让我们把探测器移到玻璃下方某处，考虑第一讲我们没有谈到的问题——玻璃的两表面透射的概率（见图43）。

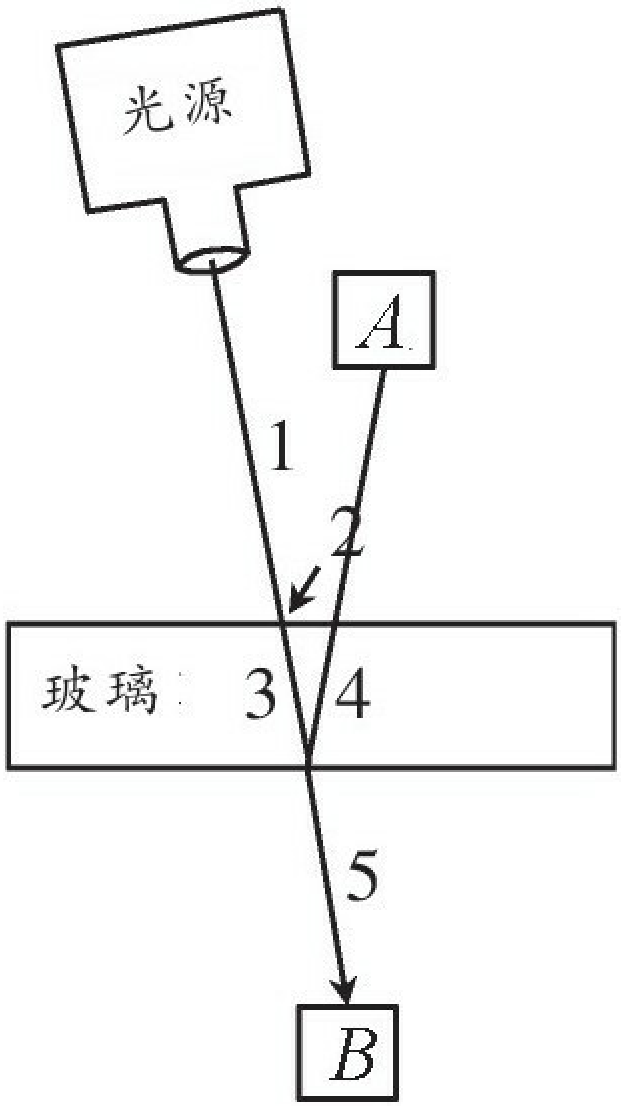


图43　两表面的透射可分为五步：第二步将一个单位长度缩短至0.98，第四步将这0.98又缩至其0.98，两次缩短后长度约0.96：第一、三、五步仅涉及旋转。结果，最终箭头的长度是0.96，它的平方是约0.92，代表两表面透射的概率为92%（它对应于我们所期望的反射值8%，就是“一天正确两次”的那个值）。若玻璃的层厚恰好使反射的概率达16%，那么加上透射概率的92%，计算出来的光岂不成了108%！这个分析一定在什么地方出了毛病。

当然，答案你们是知道的：光子到达B的概率就是从100%减去我们前面已经计算过的到达A的概率。这样，如果得出到达A的机会是7%，

那么到达B的机会一定是93%，如果到达A的机会从0经过8%到16%（由于玻璃厚度不同，概率也不同）之间变化，到达B的概率就从100%经过92%到84%。

这个答案是正确的，但我们期望的是将所有的概率用最终箭头平方的办法计算出来。如何计算出光从一片玻璃透射出来的振幅箭头呢？又如何将这个箭头的长度改变、安排得适当，以在所有情况下都同到达A的长度相匹配，使得到达A的概率与到达B的概率相加永远精确地等于100%呢？让我们稍微仔细地看一看。

一个光子从光源到玻璃下方B处的探测器，可分五步走。让我们按这五步一边走，一边缩短和旋转一个单位箭头。

前三步与上边的例子相同：光子从光源到玻璃（旋转，无缩短）；光子经前表面透射（无旋转，缩短至0.98）；光子穿过玻璃（旋转，无缩短）。

第四步——光子穿过玻璃的后表面——在缩短和旋转上与第二步相同：无旋转，但缩短至0.98的0.98，所以现在箭头的长度应为0.96。

最后，光子再次穿过空气，下落到探测器上——这意味着旋转得更多些，但不再缩短。结果是箭头的长度为0.96，指向则由秒表针的连续转动来确定。

一个长度为0.96的箭头，代表概率约为92%（0.96的平方），这意味着离开光源的100个光子中平均有92个到达B处。这也意味着8%的光子经两表面反射后到达A处。但我们在第一讲中说过，所谓两表面的反射为8%仅仅在某些时候才是对的（“一天正确两次”）——实际上随着玻璃厚度的不断增加，两表面的反射概率以零至16%的循环而起伏变动。那么，当玻璃的厚度正好使得部分反射为16%的时候怎么样呢？因

为每100个离开光源的光子中，有16个到达A，92个到达B，这岂不意味着我们计算出来的是108%的光了吗？——真是怪透了！一定是哪里出毛病了。

原来，毛病出在我们忽略了光可以通过所有路径到达B这一点上！例如，光可以从后表面弹回，通过玻璃，好像它准备奔到A去似的，但它又被前表面反射回来，返落向B（见图44）。这个路径共九步。让我们逐一看一看，在光通过这九步中的每一步时，单位箭头发生了怎样的变化。（别担心，无非就是缩短和旋转！）

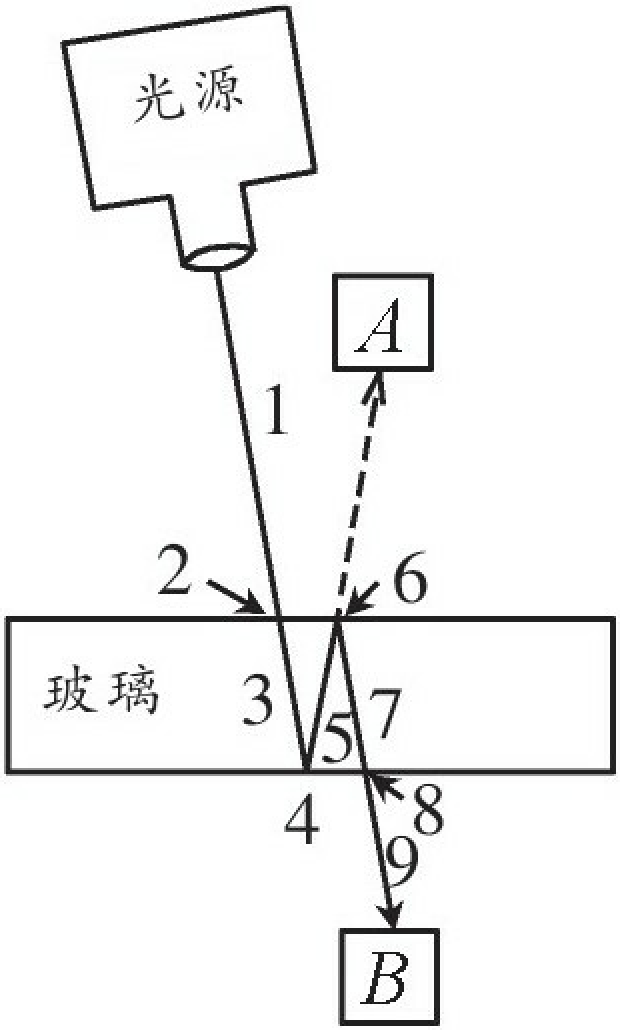


图44　为使计算更加精确，必须计及光可能为两表面透射的另一条路径。它包括：两次缩短到0.98（第二、八步），两次缩短到0.2（第四、六步），结果箭头的长度为0.0384（接近于0.04）。

第一步：光子通过空气——旋转，无缩短；第二步：光子进入玻璃——无旋转，但缩短至0.98；第三步：光子通过玻璃——旋转，无缩短；第四步：由后表面反射回来——无旋转，但缩短至0.98的0.2，即0.196；第五步：光子返上去通过玻璃——旋转，无缩短；第六步：光子被前表面（它实际上应叫“后”表面，因为这个光子现处于玻璃之中）

反回——无旋转，但缩短至0.196的0.2，即0.0392；第七步：光子向下返回来通过玻璃——旋转得更多，无缩短；第八步：光子穿过后表面——无旋转，但缩短至0.0392的0.98，即0.0384；最后，第九步：光子通过空气到达探测器——旋转，无缩短。

经过所有这些缩短和旋转，所得结果是长度为0.0384（在实际应用的各种场合，我们都可以说它就是0.04）的振幅，它的角度就是一个光子通过这个较长的全程时，为它记时的秒表所旋转的角度。这个箭头可以代表光从光源到达B的第二种可能的方式。现在我们有了两种不同的方式，必须把这两个箭头加起来——对应于较直接路径的箭头，长度是0.96，对应于较长路径的箭头，长度是0.04——这就是最终箭头。

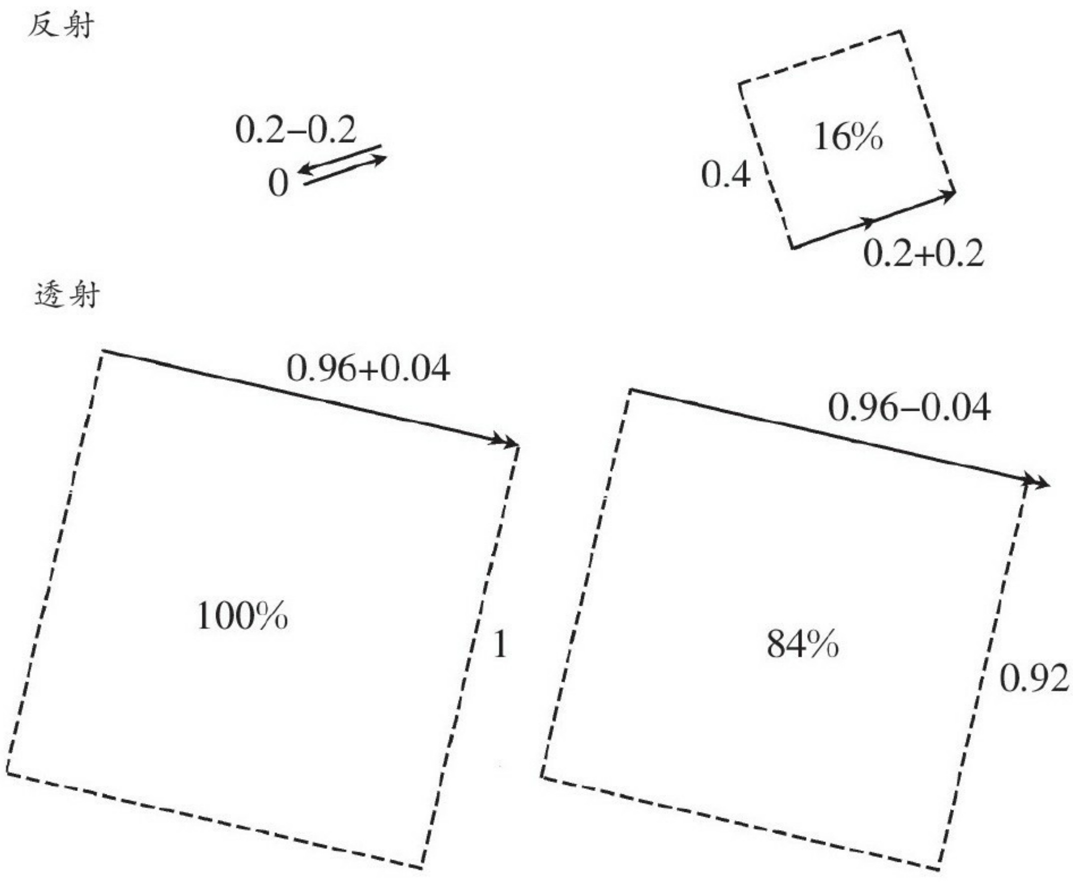


图45　大自然总是保证使所计及的光为100%。如果厚度刚巧使透射箭头彼此相长，

那么反射箭头就会彼此相消；如果反射箭头彼此相长，透射的箭头就彼此相消。

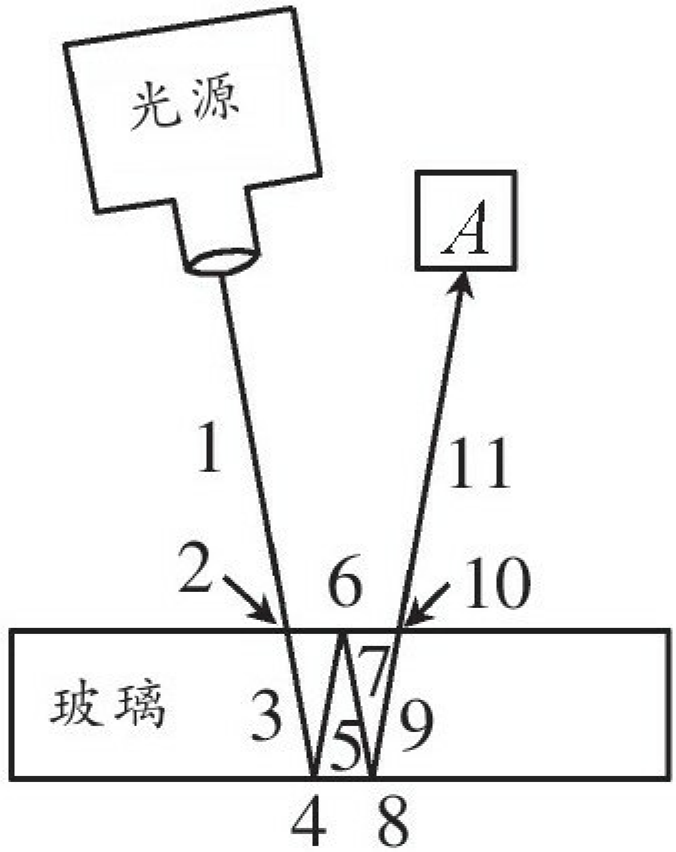


图46　对于更精确的计算，光反射的其他路径也应该计及。在这个图中，第二、十两步是缩短至0.98，第四、六、八三步是缩短至0.2，结果是长度约为0.008的箭头，它是反射的另一路径，因此应同代表反射的其他箭头（从前表面反射的0.2，后表面的0.192）加在一起。

这两个箭头的方向通常是不同的，因为当玻璃厚度改变时，0.04箭头对0.96箭头的相对方向就改变了。但是，请看一看事情竟有多妙：秒表在对光子的第三、五两步（当它奔向A时）记时时的多余旋转，竟恰恰等于在对第五、七两步（当它奔向B时）记时时的多余旋转。这意味着当这两个反射的箭头相互抵销而最终箭头表示零反射时，透射的箭头就相互加强，使箭头的长度为0.96+0.04，即1，就是说，如果反射的概率为零，透射的概率就是100%（见图45）。当反射的箭头相互加强，

使振幅为0.4时，透射的箭头会相互抵销，造成0.96-0.04（即0.92）的振幅长度，就是说当反射的计算值为16%时，透射的计算值将为84%（0.92的平方）。你们看看，大自然在制订她的规则时是多么聪明啊，她使我们在计算光子数时，永远能把她们计算为100%。[5]

最后，在这一讲结束之前，我想再给你们讲讲箭头相乘的规则有个引申：箭头相乘不仅是针对一个事件包含几个相继步骤的情况，而且还针对一个事件由几个相伴发生（即相互独立且可能同时发生）事件组成的情况。例如，假定我们有两个光源X和Y，两个探测器A和B （见图47），我们想计算这样一个事件的概率，即在X和Y各失去一个光子之后，A和B各得一个光子的概率。

在这个例子中，光子通过空间到达探测器——既不反射也不透射，这是个好机会，使我可以讨论过去一直未予注意的现象：光在前进中分散开来。现在我要告诉你们计算单色光通过空间从一点到另一点的完整规则——不是近似，也不是简化。我们所知道的关于单色光在空间通过的全部内容（不考虑偏振或极化）就是：箭头的角度取决于想象中的秒表指针，光子每前进一英寸，它就转动一定的圈数（转多少圈取决于光子的颜色）；箭头的长度则同光通过的距离成反比——换句话说，光越向前，箭头就越短。[6]

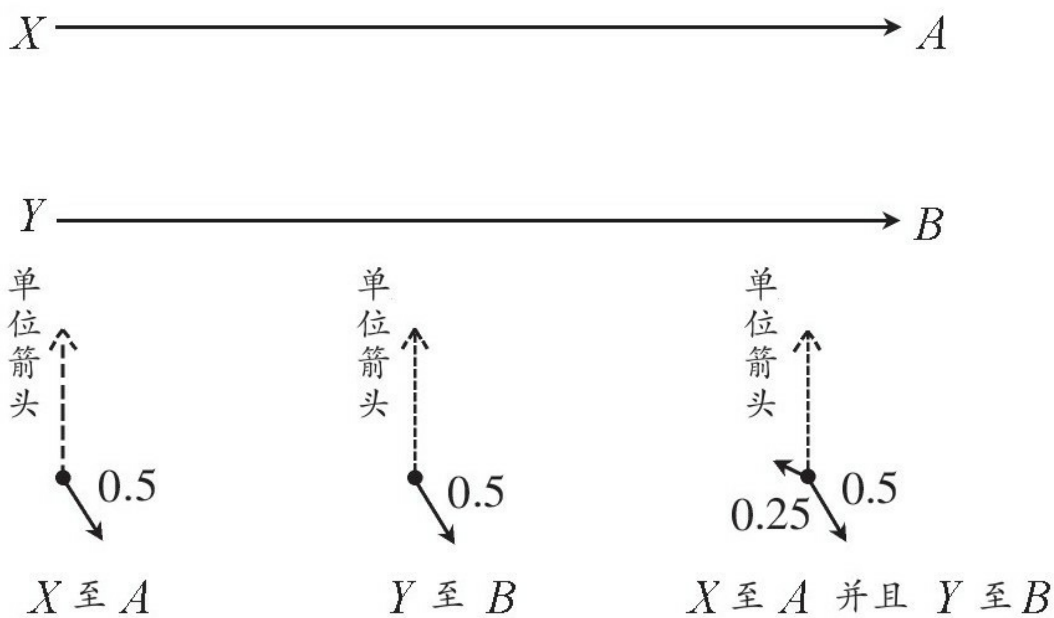


图47　如果某特定事件可能发生的方式之一取决于几个相互独立发生的事件，那么计算此方式的振幅就是将这几个独立事件的箭头相乘。在这个情况下，最终事件是在X和Y都失去一个光子之后，光电倍增管A和B各响了一声。这个事件发生的一种可能的方式是，一个光子从X到A，另一个光子是从Y到B（两个独立事件）。为了计算这“第一种方式”的概率，每个独立事件（X到A和Y到B）的箭头要相乘，以得到这个特定方式的振幅（图48将继续分析）。

让我们假设，从X到A这条路径的箭头长度为0.5，指向是5点钟，从Y到B的箭头也是一样（见图47）。将一个箭头乘以另一个箭头，得到最终箭头的长度为0.25，指向是10点钟。

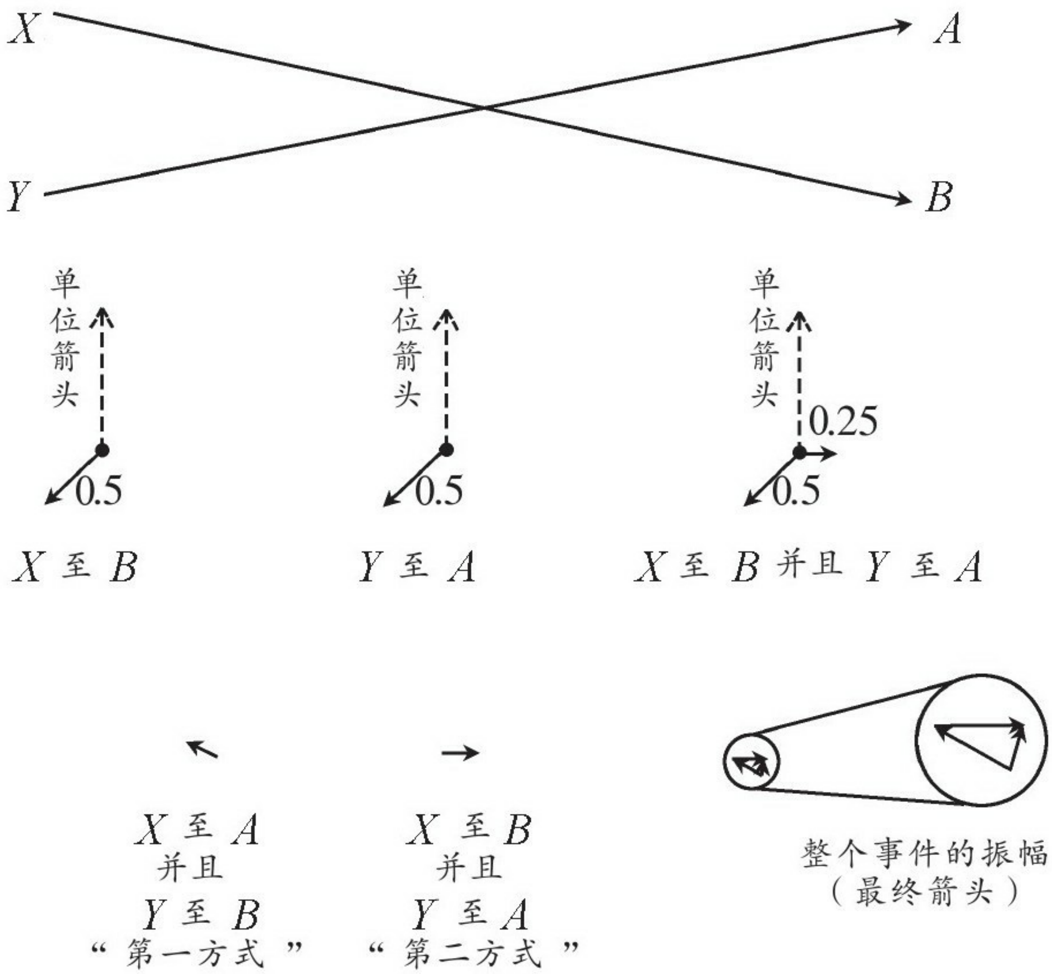


图48　图47所描绘的事件还可能以另一种方式发生，（一个光子从X到B，一个光子从Y到A），它也取决于两个独立发生的事件。这样，这“第二种方式”的振幅也是用这两个独立事件的箭头相乘的方法计算。最后，将“第一种方式”和“第二种方式”加在一起，得到事件的最终箭头。一个事件的可能性总是用单一的最终箭头来表示——无论在计算过程中回出多少个箭头，并把它们相乘、相加。

但是，且慢！这个事件还可能以另一种方式发生：从X出来的光子可能到B，从Y出来的光子到A。这两个“子事件”都有各自的振幅，它们的箭头也必须回下来并相乘，这样就得出了此事件能以这种特殊方式发生的振幅（见图48）。因为同箭头旋转的量相比，箭头随距离增加而缩短的量要小得多。这样，X到B及Y到A的距离与X到A及Y到B的距离基本上一样，均为0.5，但它们旋转的量却大为不同：试想对红光来说，

每前进一英寸秒表指针旋转36000圈，这样，距离上极小的变化都会导致计时上的重大差异。

将这个事件发生的所有可能方式的振幅都加起来就得到最终箭头。这些振幅的长度大致相同，所以当它们方向相反时，就会相互抵销掉。如果改变光源与探测器之间的距离，两个箭头之间的相对方向就会改变，就是说只要将探测器移向或远离光源一点点，就可能使事件的概率大为增加或完全抵销掉，就像两表面部分反射的情况一样。[7]

在这个例子里，将箭头相乘，再相加，就得出了最终箭头（这个事件的振幅），它的平方就是这个事件的概率。这里要特别强调的是，无论要回出多少个箭头，并把它们相加或相乘，我们的目的是计算此事件的单一最终箭头。学物理的学生最初常犯的错误就是因为没有把这个重要的观点牢记在心。学生们对涉及一单个光子的事件要做很长的分析，大概是过程太长把他们弄糊涂了，他们往往不知怎么的开始把箭头与光子联系在一起。而这些箭头是概率振幅，平方后就得出完整事件的概率。[8]

下一讲我将开始把物质的性质作简化并给出解释——解释缩短至0.2倍是从哪里来的，为什么光通过玻璃或水比通过空气要慢些，等等——因为到目前，我一直在“行骗”：光子并不是真的从玻璃表面反弹回去；它们是在和玻璃内部的电子相互作用。我将要给你们讲，光子所做的无非就是从一个电子走向另一个电子，还要讲反射和透射实际上就是电子接爱了一个光子，“揪下它的头”，（姑且这么说吧！）并放出一个新光子的结果。对迄今为止我们讨论的所有问题而言，这个简化是很漂亮的。

注释

1. 镜子上那些其箭头指向偏左的区域也会造成强反射（如果把箭头

指向其他方向的区域都刮掉的话）。只是在偏左和偏右两区域一起反射时，它们才相互抵销掉了。这同两表面的部分反射相类似：虽然每个表面各自反射各自的，但如果玻璃的厚度恰好使这两个表面分别贡献出来的箭头方向相反，反射就被抵销掉了。

2. 我禁不住要给你们谈谈大自然造就的一个光栅：食盐晶体，它是钠原子和氯原子按规则码垛起来的。这种交替式图形就像我们制造的带有刻痕的镜子，只要颜色适当的光（在这种情况下是X射线）照射到上面，就可以起到光栅的作用。一旦找到探测器能接收到大量这种特殊反射（称为衍射）的位置，人们就能很精确地确定条纹之间相隔多远，因而得知原子之间相距多大（见图28）。这是一种确定所有各类晶体的结构以及证实X射线和光是同类东西的漂亮办法。首次进行这类实验是在1914年（应为1912年——译注），那时人们怀着兴奋激动的心情第一次细致地看到了不同物质的原子是怎样码垛在一起的。

3. 这是“不确定性原理”的一个例子：关于光在两屏板间走哪条路和此后走哪条路这两个知识之间有一种“互补”关系——想两者全都精确地知道是不可能的！我愿意把不确定性原理放在它的历史地位上来考察：在量子物理的革命性思想刚刚提出来时，人们还力求借老式的概念（如光走直线）去理解它们。但是，到一定的时候，老式概念开始不灵了，于是出现了这样的警告：事实上，“当……时，你那个老式概念就一文不值了”。如果你放弃所有老式概念，换用我在这个系列讲座中给你们讲解的思想——将一个事件发生的所有可能方式的箭头都加起来——“不确定性原理”就不再需要了。

4. 数学家一直在尽力找出所有服从代数规则（A+B=B+A，A×B=B×A，等等）的东西。这些规则当初是为正整数（人们用来数苹果呀、人呀这类东西）制定的。后来，人们发明了零、分数、无理数（不能用两个整数之比表示的数），以及负数，使数的概念有了很大发

展，但这些数仍然服从代数的原始规则。数学家发明的有些数最初让人难以接受——比如半个人这样的概念就是难以想象的——但是今天就完全没有困难了，在听到某地区每平方英里平均有3.2人时，再没有人会产生道德上的不安，或血淋淋的难过感觉。人们并不力求想象0.2个人是什么样，而是懂得3.2意味着：如果把3.2乘上10，就得到32。这样，那些满足代数规则的东西可能使数学家感兴趣，即使它们并不永远代表真实情况。一个平面上的诸箭头可用首尾相连的办法“相加”，或以连续旋转和缩短的方式“相乘”。由于这些箭头与普通的数服从同样的代数规则，数学家把它们也叫作数。但为了把它们与普通的数区分开来，就叫它们为“复数”。对你们当中学过复数的人，我本来也许会用这样的说法：“一个事件的概率就是一个复数的绝对平方。若一个事件能以各种可择的方式发生，你就将这些复数加到一起；如果它只能以若干相继的步骤发生，你就将这些复数乘起来。”这种说法可能听起来给人印象深一些，但这并不比我以前所讲的多点什么内容——我只不过是用了不同的语言。

5. 你也许会注意到，为了使计得的光子为100%，我们将0.0384改为0.04，并用84%作为0.92的平方。但是当把所有的箭头都加到一起时，0.0384和84%就无须四舍五入了。所有那些零七八碎的箭头（代表光的所有可能走的路径）都将相互补偿，保持答案正确。你们中如果有谁对这类事情有兴趣，这里有个例子，是光从光源到达探测器A可走的另一条路——一组三反射（和两个透射），结果，最终箭头是0.98×0.2×0.2×0.2×0.98，即约为0.008，这是个很小的箭头（见图46）。要对两表面的部分反射做完整的计算，你就得把所有这些箭头都加起来，还要加上甚至更小的、代表五反射的箭头，等等。

6. 在学校里你们学过，光量的改变同光传播距离的平方成反比，它可以用来验证我们这里所讲的规则，因为箭头缩至原来大小的一半，它的平方就变为原来的1/4。

7.这个现象叫作“汉伯瑞-布朗-特威斯效应”（Hanbury-Brown-Twiss effect），利用它可以区分宇宙深处的无线电波单源和双源，即使两个源彼此靠得极近也没有问题。

8.记住这个原理会帮助学生避免被“波包退化”之类的东西弄糊涂了。

第3章　电子和它们的相互作用

这是关于一个相当困难的课题——量子电动力学理论——的四讲中的第三讲。今晚在座的人数显然比以前多，所以你们中间没有听过前两讲的人会发现这一讲几乎不可思议。那些已经听过前两讲的人也会发现这一讲不可思议。但你们知道，这没关系：正像我在第一讲中解释的那样，我们不得不用以描述自然界的方式，一般来说，对我们就是不可思议的。

在这几讲中我想给你们讲一讲物理学中我们了解得最好的部分，即光和电子的相互作用。你们熟悉的大部分现象——如全部化学和生物学的现象——都涉及光和电子的相互作用。量子电动力学这个理论能将所有现象（除引力现象和核现象外）囊括其中。

在第一讲中我们就已知道，即使对一个最简单的现象，例如光在玻璃上的部分反射，我们也没有一个令人满意的机制去描述它。我们也无法预测某一给定光子是穿过玻璃，还是为这块玻璃所反射。我们唯一能做的就是计算某一特定事件将要发生的概率——对于我们刚说的情况，就是预测光是否将被反射。（当光向下直射到玻璃的单表面时，被反射的概率是4%；当光更倾斜地打到玻璃上时，反射的概率就增加。）

我们在处理一般情况下的概率问题时，有如下“合成规则”：1.若某事件可以各种待选的方式发生，我们把所有的不同方式的概率都加起来；2.如果这事件是作为一系列相继步骤出现——或者它的出现依赖于同时但独立发生的几个事件——我们就将所有步骤（或事件）的概率乘起来。

在量子物理这个奇异而美妙的世界里，计算概率的方法是将箭头的长度平方：我们遇到的情况假如在一般情况下是需要将概率相加，我们就把箭头加起来；如果在一般情况下是需将概率相乘，我们就把箭头乘起来。用这种方法计算概率所得的特定答案与实验结果完美地符合。为了理解大自然，我们必须求助这类古怪的规则和奇特的推理，对这点我感到非常高兴，而且很愿意向人讲解。对大自然做这种分析的背后没有“轮子和齿轮”；如果你想理解大自然，你只能采取这个方法。

在开始这一讲的主要内容之前，我想再给你们举个例子说明光的行为是怎样的。我想讲的是一种非常弱的单色光——一次只有一个光子——从光源S出来，到达探测器D（见图49）。在光源和探测器之间放一个屏板，屏板上A、B两处开两个很小的孔，两孔的间距为几毫米。（如果光源与探测器之间距离为100厘米，孔就必须小于1/10毫米。）令A在S和D的连线上，B在A旁边的某处，不在S和D的连线上。

在关上B孔时，D处会作响数次，这表示有光子通过了A（例如平均起来，在离开S的每100个光子中，探测器作响一次，即1%）。如果关上A孔，打开B孔，从第二讲知道，平均说来，我们会得到差不多相同数量的作响声，因为两个孔都非常小。（如果我们把光“挤压”得太厉害，通常情况下的规则——如光走直线——将归于无效。）如果两个孔都打开，我们得到的是一个复杂的答案，因为干涉出现了：如果两个孔以某个距离分开，得到的作响声要多于所期望的2%（极大值约为4%）；如果两孔距离稍变一变，会完全得不到作响声。

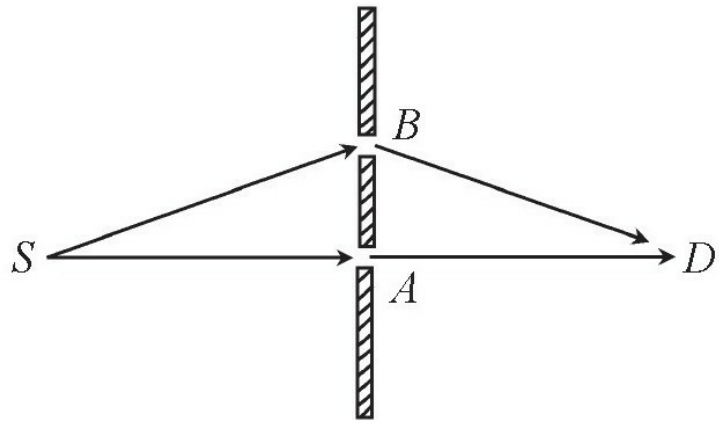


图49　光源S与探测器D之间屏板上的两个小孔（在A和B处），无论哪一个开着，光通过的量都是一样（在这种情况下是1%）。如果两个孔都开着，就会发生“干涉”：探测器发出声响的时间会从0至4%不等，这取决于A、B相距的远近——见图51（a）。

人们一般会认为，打开第二个孔永远会使到达探测器的光量增加，但实际上不是这么回事，所以光“或走这条路，或走那条路”的说法是错误的。我偶尔也说“那么，这光或走这条路，或走那条路”这种话，但是当我这么说的时候，我须记住我的意思是说把振幅加起来；这光子以某一振幅走一条路，并以另一振幅走另一条路。如果振幅彼此相反，光就不可能到达探测器——即使两个孔都是打开的。

对大自然的这个奇异现象有种极大的误解，我现在就想给你们谈谈这个问题。假定我们安放两个特殊的探测器——一个放在A，一个放在B（要设计一种能告知我们是否有光子通过的探测器是可能的）——这样在两个孔都打开时我们就可以知道光子是通过哪个孔了（见图50）。由于一单个光子从S到达D的概率仅爱两孔之间距离的影响，所以一定是有某种诡秘的方法将这个光子一分为二，然后又回到一处，合二而一，对吗？根据这个假说，A、B两处的探测器应该总是一起作响，（强度可能是各一半吧？）而D处的探测器作响的概率应是从0到4%，具体数值取决于A、B之间的距离。

但实际的情况是：A、B两处的探测器从来不同时作响——永远是

或A作响，或B作响，一个光子并不一分为二；它或走这条路，或走那条路。而且，在这种情况下，D处的探测器有2%的时间作响——这是A、B两处概率的简单相加（1%+1%），这2%不爱A与B之间距离的影响；在A、B两处安放探测器时，干涉消失了。

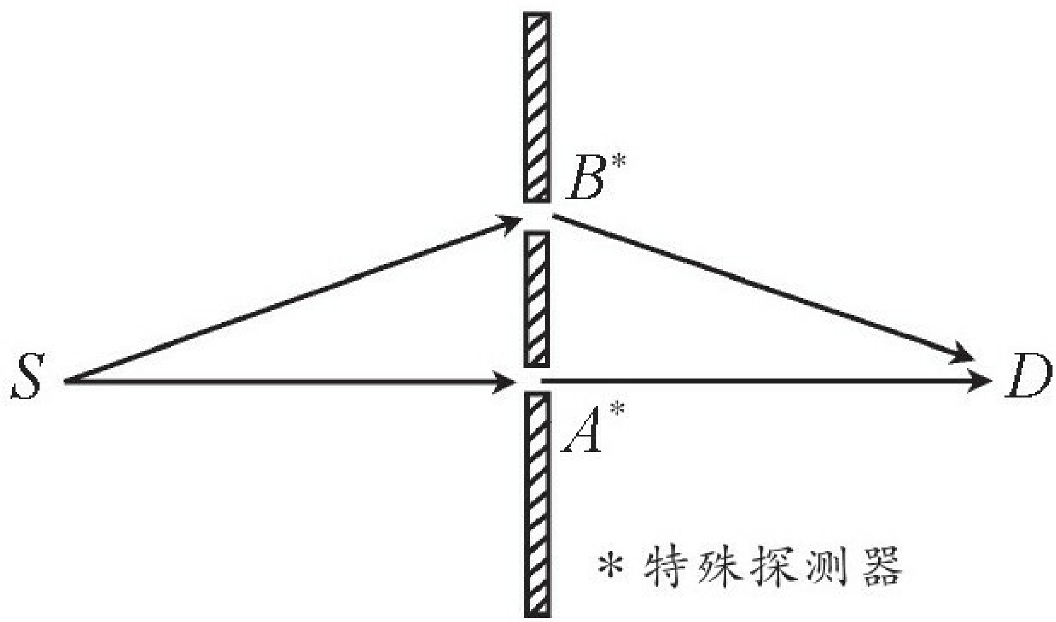


图50　如果在A、B两处各放一个特殊的探测器，用以告知若两个孔都开着，光走的是哪条路，这个实验已经变了，因为（在你检测这两个孔时）一个光子永远是只穿过这个孔，或只穿过那个孔。这样就有两种相互可区别开来的最终情况：1.A和D处的探测器作响；2.B和D处的探测器作响，每种情况发生的概率大约为1%，两种情况发生的概率以普通方式加起来，这就是D处的探测器以2%的概率作响的原因——见图51（b）。

这个现象是大自然已经编制好了的，所以，我们将永远也琢磨不透她是怎么弄的：如果为了发现光走哪条路而把仪器安置进去，倒是能知道光走哪条路，但是，好，这一下美妙的干涉效应消失了。如果我们把能告诉我们光走哪条路的仪器撤掉，干涉现象又回来了！——确实非常奇妙！

为了理解这个怪事，让我提醒你注意下面这个很重要的原则：为了正确地计算一个事件的概率，人们必须小心地把一个完整事件定义清楚——特别是实验的初始状态和最终状态到底是什么。你要看看实验前后的仪器，找找发生了哪些变化。在我们计算一个光子从S到D的概率，而A、B两处又无探测器时，这个事件就只不过是D处一声作响。当D处的一声作响是状态的唯一变化时，我们无法说出光子走的是哪条路，所以存在着干涉。

如果在A、B两处放置探测器，我们就把问题改变了。原来，这里有两个完整事件——两组最终状态——它们是可以区分开的：

1.A、D两处的探测器作响；

2.B、D两处的探测器作响。当实验中存在着几个可能的最终状态时，我们必须把每一个最终状态都作为独立的完整事件来计算概率。

为了计算A、D两处探测器作响这个状态下的振幅，我们将表示下列几个步骤的箭头乘起来：一个光子从S到A，这个光子再从A到D，使D处的探测器作响。最终箭头的平方就是这个事件的概率——1%，这个值与B处的孔关闭时的值相同，因为这两种情况的步骤完全相同。另一个完整的事件是B和D处的探测器作响，这个事件的概率用相同的方式计算，结果也与上面一样——约为1%。

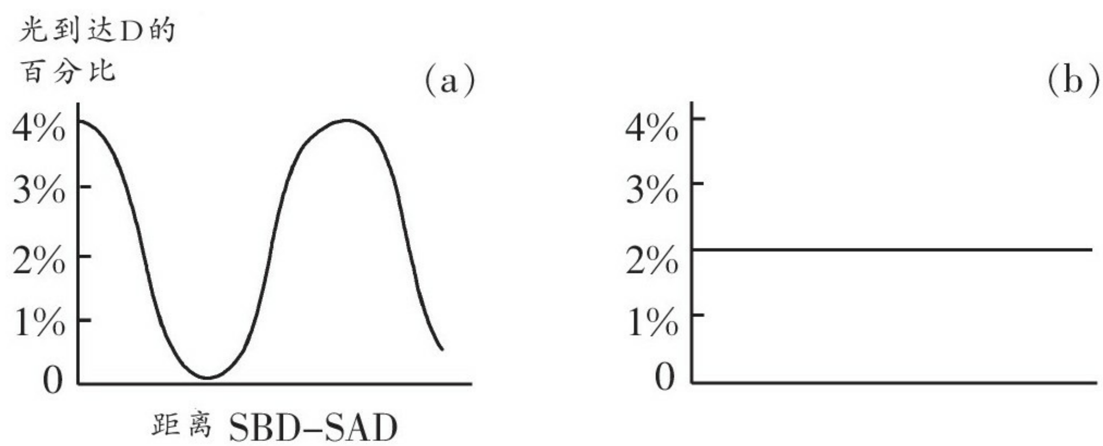
如果我们想知道的是D处的探测器作响有多么频繁，而不管在这过程中是A处还是B处的探测器作响过，那么这个概率就是这两个事件概率的简单相加——2%。原则上说，如果在这个系统中放入了什么使我们能够用来观测，以得知光子是从哪条路过来的，我们就会有不同的“终态”（即可以区分的最终状态），我们将把每个终态的概率（不是振幅）加起来。[1]

我在前面已经指出了自然界是多么难以捉摸，你对自然界行为之奇特了解得越多，就越难制造一个模型来解释哪怕是最简单的现象实际上是如何发生的。所以，理论物理学就放弃做这种努力。

在第一讲里我们已经看到一个事件怎样能分成不同的方式，而每一种方式的箭头怎么能“加”起来。在第二讲中我们看到了每一种方式又如何能分解为若干相继步骤，每一步的箭头如何看作是单位箭头变换的结果，而这些箭头如何由连续的缩短和旋转而“乘”起来。这样对于回出并合成箭头（这些箭头代表了诸小事件），以得出最终箭头（它的平方就是所观测的物理事件的概率）的全部有关规则我们就都熟悉了。

人们不免要担心，我们这种把事件分割为越来越简单的子事件的作法到底能进行到哪步为止？可能的最小事件是什么？可用来构成涉及光与电子的所有现象的小事件其数量是否有限？在量子电动力学的语言中，有没有数量有限的“字母”（letters）可用来组成“字词”（words）和“短语”（phrases），以描述几乎所有的自然现象？

答案是：有；字母数是三。我们仅需三种基本作用就能得出所有与光和电子有关的现象。



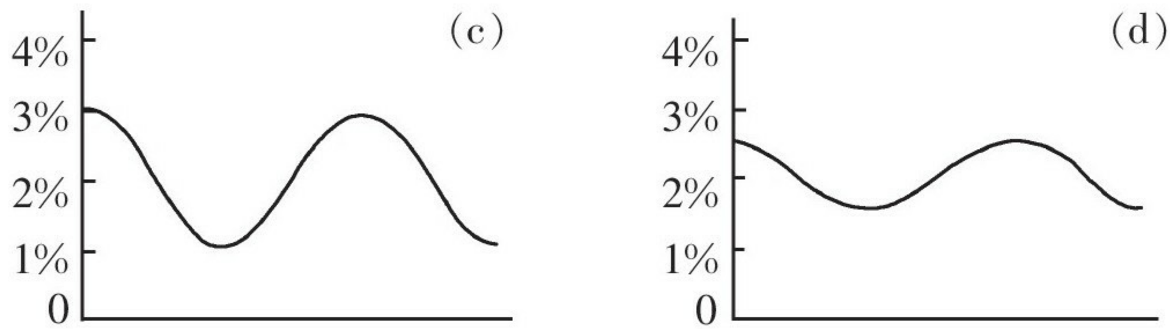


图51　如果A、B处没有探测器，那就有干涉——光量是从0至4%（a）。如果A、B两处有百分之百可靠的探测器，那就没有干涉——到达D处的光量为恒定的2%（b）。如果A、B两处的探测器不是100%可靠（就是说，有时A、B两处明明应该探测到光子，但它们却毫无动静），那就有三个最终状态：A和D作响；B和D作响：D单独作响。这样，最终曲线就是三种可能的最终状态所做贡献的混合。A、B两处的探测器可靠性越差，干涉就越多。将（c）与（d）相比，情况（c）的探测器的可靠性要比（d）差。与干涉有关的原理是：对于几种可能的不同最终状态，须先独立求每一种最终状态的概率（将其有关箭头相加，并将最终箭头的长度平方）；然后再把几个概率按一般方式加到一起。

在告诉你们这三种基本作用是什么之前，我应当在这里适当地介绍一下作用者，作用者是光子和电子。光子——光的粒子——在前两个讲座中已讲得不少了。电子是1895年作为粒子发现的，[1]你可以对电子计数；你也可以把一个电子放在油滴上测量它的电荷。后来逐渐清楚了，用这种粒子的运动可以说明电线中的电流。

发现电子后不久，原子被想象为一个小小的太阳系，它由重的部分（称为核）和这些沿“轨道”运转的电子组成，这些电子很像绕太阳旋转的行星。如果你认为原子就是这样，那你就返回到了1910年。[2]1924年德·布罗意（Louis De Broglie）发现有一种类似波动的特性与电子相关联，稍后不久，贝尔实验室的C.J.戴维逊（C.J.Davisson）和L.H.革末（L.H.Germer）用电子轰击了镍晶体。结果电子反弹回来的角度妙极了（就和X射线返回的角度一样），这些角度完全可以用德·布罗意关于电子波长的公式计算出来。

当我们从大尺度上——和秒表转一周相应的距离比起来要大得多——看光子时，我们看到的现象与诸如“光走直线”这类规则很接近，这是因为在最短时间路径的周围有相当大量的路径在相互加强，而相当大量的其他路径则相互抵销掉了。但是，在光子运动的空间变得太小时（比如在屏上的很小的孔洞），这些规则就不起作用了——我们发现光并不走直线，两孔之间会形成干涉等等。同样的情况也存在于电子。从大尺度看，电子像粒子一样沿一些明确的路径运动。但从小尺度看，例如在原子内部，空间已经小到没有主要路径可言，没有“轨道”了；所有的路径电子都可能走，每条路径都有个振幅。干涉现象变得很重要，我们只有把所有的箭头都加起来才能预言电子可能在什么地方。

有趣的是我们注意到电子首先被人看作是粒子，它的波动特性是后来发现的。光的情况相反，除了牛顿犯了个错误而认为光是“微粒”以外，光是首先被看作像波动一样，它具有像粒子一样的特性是后来才发现的。事实上，这两种物体的行为是多少有点像波动，又多少有点像粒子。为了省点事，别创造诸如“波动子”这类新词，我们就把这些物体称作“粒子”，但我们大家都知道，它们都服从我上面解释过的回出并合成箭头的那些规则。显然自然界中所有粒子——夸克、胶子、中微子等（下一讲中我们将讨论它们）——都是按量子力学的方式行事的。

好，现在我告诉你们那三种基本作用——光和电子的所有现象都是由它们引起的——是什么。

——作用1：一个光子从一处至另一处。

——作用2：一个电子从一处至另一处。

——作用3：一个电子发射或吸收一个光子。

这些作用中每一个都有个振幅——即一个箭头，根据一定的规则，

可以把它计算出来。等一下我将告诉你们这些规则（或定律）是什么。有了这些规则，我们可以把整个世界给造出来。（原子核和万有引力永远除外！）

好，现在我们要讲的是，这些作用发生的舞台并不仅仅是空间，而是空间和时间。迄今，我们没有考虑和时间有关的问题，例如，准确地说来，光子究竟是何时离开光源，又是何时到达探测器。空间实际上是三维的，但我准备在图表中把它简化为一维，这样，我准备在作图时把一个特定物体在空间的位置用水平轴表示，时间则用竖直轴表示。

我准备在空间和时间[或者说时空（space-time），我可能会不经意地这么称它]里作的第一个图就是“棒球停定”（见图52）。在星期四上午（我标为T_0），棒球位于空间某处（我标为X_0）。片刻之后，在T_1，它还占据相同的空间，因为棒球还在那里停定未动。稍后，在T_2时，棒球仍在X_0点，这样，停定不动的棒球的图就是一条竖直的带，笔直向上，棒球永远处于带中。

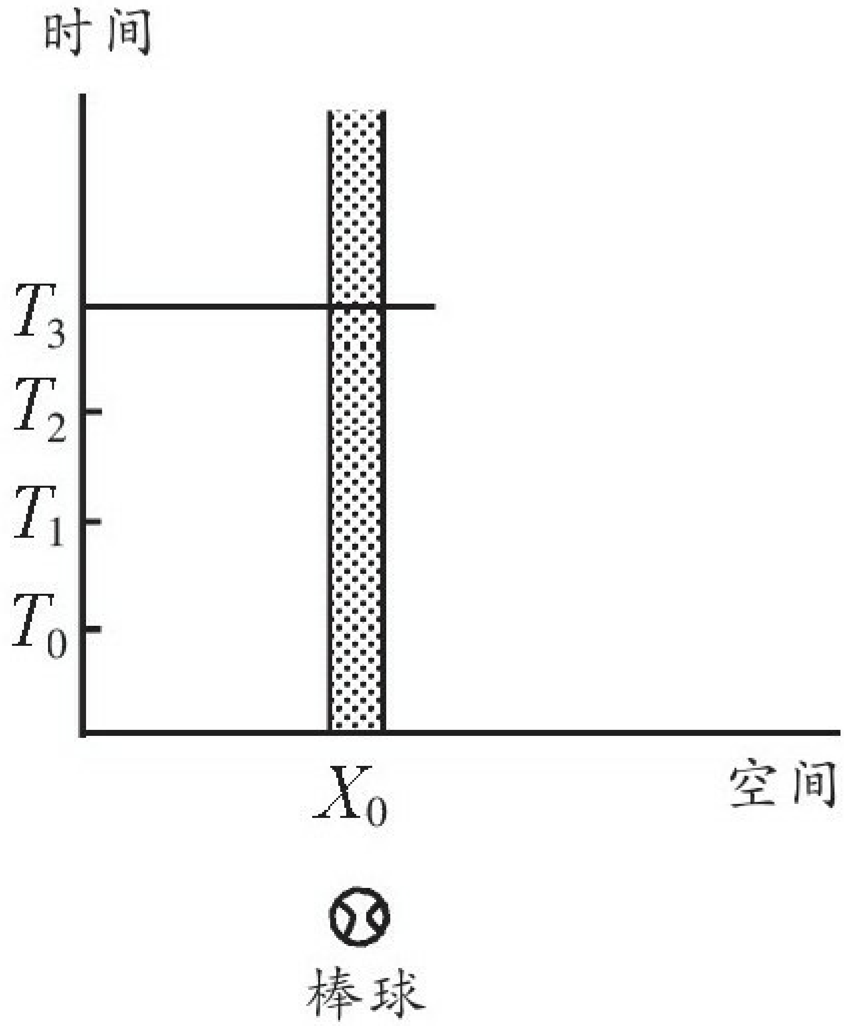


图52　宇宙中所有的活动都发生在空间-时间这个舞台上。通常考虑的时空是四维（三维用于空间，一维用于时间），这里的时空将用二维来表示（水平方向上的一维用于空间，竖直方向上的一维用于时间）。我们每一次看棒球时（如在时间T_3），它都处于同一地点。这样就产生了一个“棒球带”，当时间前移时，这条带笔直向上延伸。

如果我们让棒球飘在失重的外层空间，垂直地向一堵墙飘去，那又会怎样呢？比如，星期四的上午（T_0），它从X_0开始（见图53），过一会儿，它就不在同一位置了，它飘移了一点，到了X_1。棒球在继续飘移时，它就在时空图上造出一个倾斜的“棒球带”，棒球撞墙（墙总是立在那里，所以图形是条竖直的带）后，从另一条路返回，这条路和它从空

间X_0点来的路完全一样，只不过在不同的时间点（T_6）到达X_0。

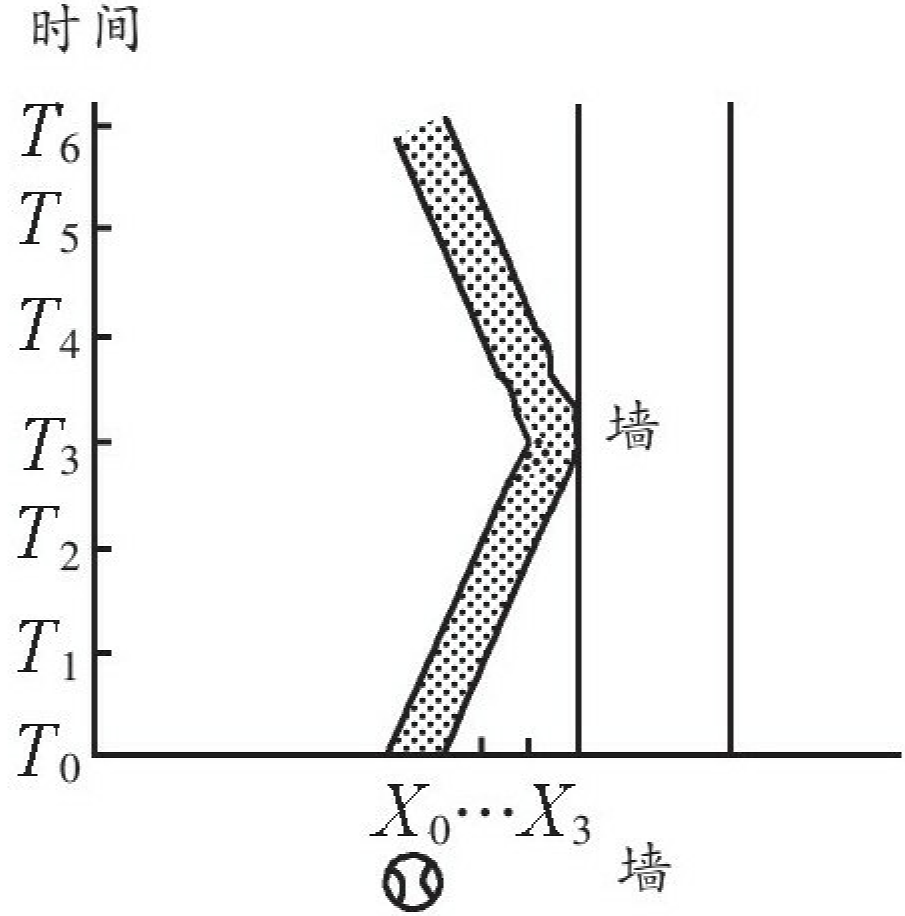


图53　一个棒球沿与一堵墙成直角的路向这堵墙飘去，然后反弹回来到达初始位置（在图的下面示出），这棒球在一维空间运动，并呈现出一个倾斜的“棒球带”。在时间T_1和T_2，棒球向墙接近；在T_3，它撞到墙上，并开始返回。

至于时间的尺度，不用秒，而用比秒小得多的单位则非常方便。因为我们的对象是光子和电子，它们运动得极快。我准备用45°代表以光速运动的物体。例如，一个粒子以光速从X_1T_1运动到X_2T_2，X_1、X_2之间的水平距离与T_1、T_2之间的竖直距离相等（见图54）。为了使45°代表一个以光速运动的粒子，我们让时间以一个我们称之为c的量作为因子向前延伸，你们会看到c这个字符在爱因斯坦的公式里到处飞舞，这

是由于这些公式不幸选用了秒作为时间单位，而没有用光飞过一米所需的时间作时间单位。

现在，让我们仔细看一看第一种基本作用——光子从一处运动到另一处。我将用A与B之间的波纹线（没有什么特别的理由）回出这个作用。这里，我得多加小心，我应该说，已知在某时刻位于某地点的光子，以某一定的振幅于某时刻到达另一地点。在我的时空图（见图55）上，点A（即在X_1和T_1）的光子有一定的振幅在点B（即X_2和T_2）处出现。我会把这个振幅的大小叫作P（A至B）。

关于这个箭头即P（A至B）的大小，有一个公式。这个公式是大自然几个伟大定律之一，而且很简单。P值取决于两点间的距离之差和时间之差。这两个差值可以用数学的方法[2]表示为（X_2-X_1）和（T_2-T_1）。

对P（A至B）做出主要贡献的是光的寻常速度（这时X_2-X_1等于T_2-T_1），人们期望的是光永远以寻常速度前进，但是光以比寻常光速快（或慢）些的速度前进的振幅也是存在的。在上一讲中，你们已经知道光并不是仅沿直线前进，现在，你们又知道了，光也不是仅以光速前进。

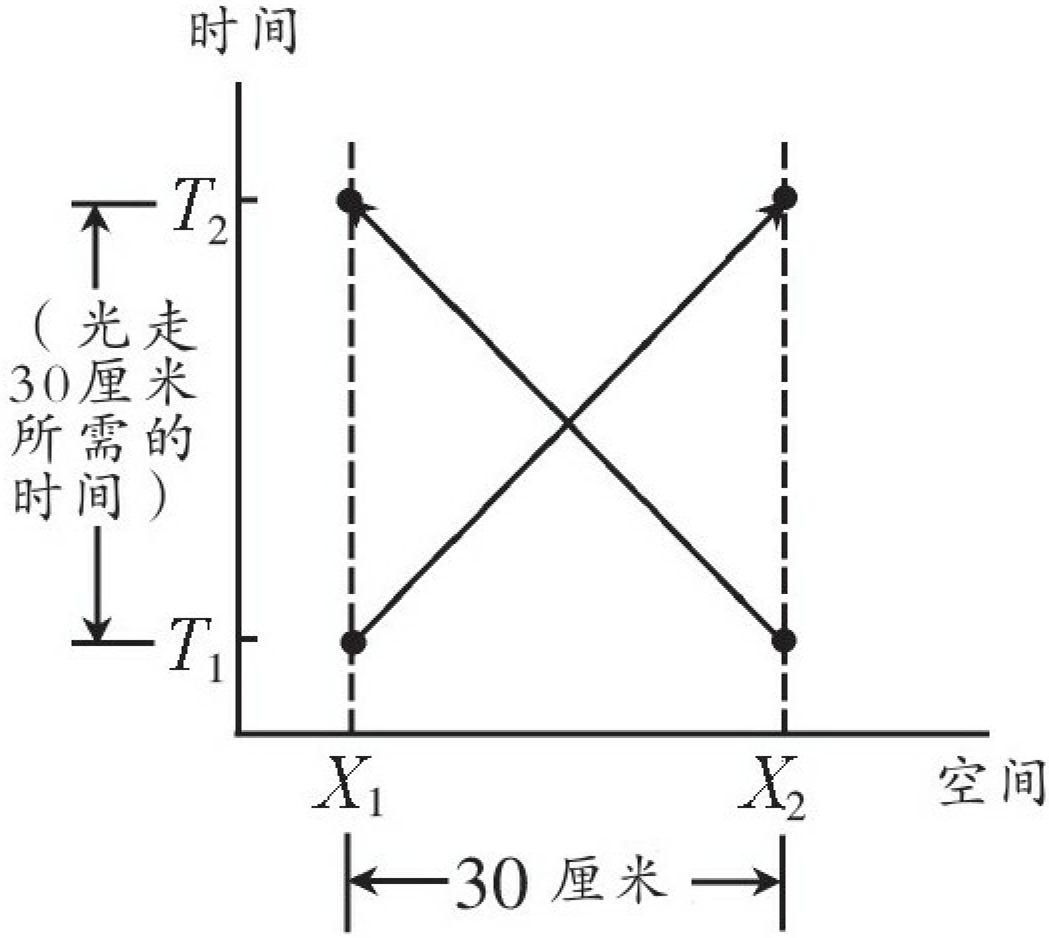


图54（左）我在这些图中使用的时间尺度将使以光速运动的粒子是以45度角在时空图上运动。光走30厘米（从X_1至X_2或X_2至X_1），所用的时间大约是十亿分之一秒。

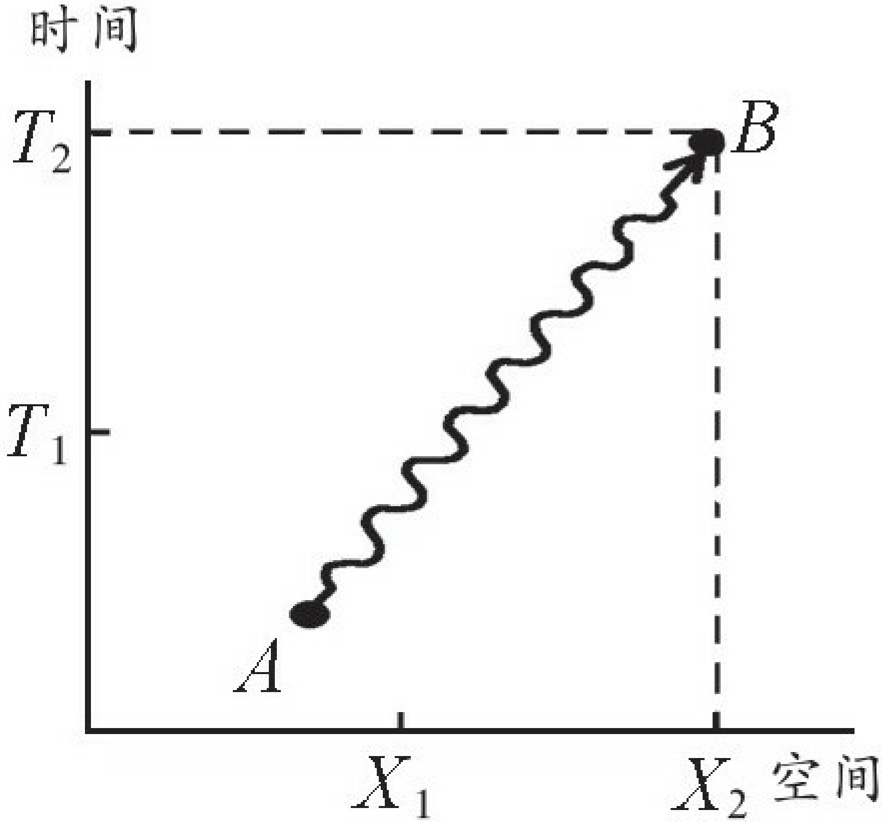


图55（右）一个光子（以波纹线表示）以一个振幅从时空图中一点（A）至另一点（B），这个振幅我将称之为P（A至B），它的计算公式仅取决于地点之差（X_2-X_1）和时间之差（T_2-T_1），事实上，它是这二者方差[即“间隔”I，可以写为（X_2-X）^{2}-（T_2-T_1）^{2}]的倒数这样一个简单函数。

光以快于或慢于寻常速度c的速度前进这种情况的振幅不等于零，这可能会使你感到奇怪。同寻常速度c的贡献相比，这些可能性的振幅是很小的。事实上，光在长距离运行中，它们都抵销掉了。但是，当距离很短时（我们下面将要回的许多图就属于这种情况）这些其他的可能性就变得相当重要，而必须予以考虑。

这就是第一种基本作用，物理学的第一个基本定律——一个光子从

一点至另一点。它可以解释全部光学问题，它就是关于光的全部理论！不过，这么说也不全对，我保留了极化或偏振没谈，还有就是光和物质的相互作用没谈，后面这个问题将把我们引到第二个定律。

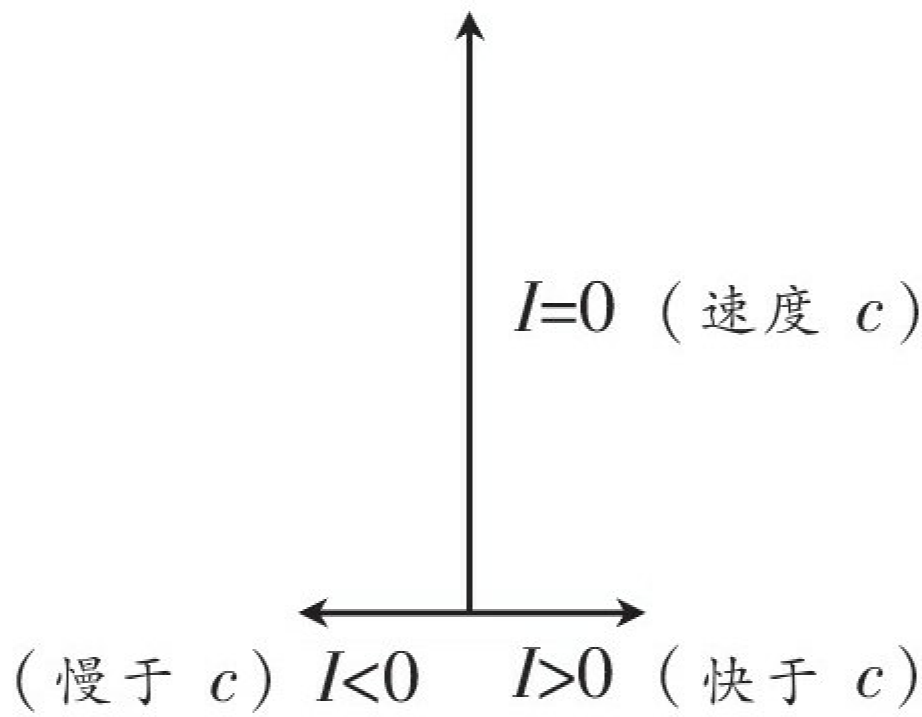


图56　光以速度c运行时，“间隔”I等于零，对12点钟的方向贡献很大。当I大于零时，对3点钟的方向有个小贡献，其大小与I成反比；I小于零时，对九点钟的方向有同样大小的贡献。这样光就有快于或慢于寻常光速的振幅，但这些振幅在长距离上便被抵销了。

奠定量子电动力学基础的第二种基本作用是：一个电子在时空图中从A点到B点。[暂时把这个电子想象为一个简化的虚电子，它没有极化，就是物理学家所谓的“零自旋”的电子。实际上，电子确有一种极化，不过它对主要概念没有添加多少东西，只不过使公式略复杂一些。]我把这个作用的振幅称为E（A至B），它的大小也取决于（X_2-

X_1）和（T_2-T_1）（与注释2中描述的组合相同），以及被称为“n”的数，n这个数一旦确定下来，就能使我们所有的计算结果同实验相一致。（以后我们会讲到如何确定这个“n”值。）E的计算公式相当复杂，我很遗憾不知如何用简单的话加以解释。但是，你可能很愿意知道这么一点，即如果n=0，那么P（A至B）——即一个光子在时空图中从一点到另一点——的计算公式同E（A至B）——一个电子从时空图中的一点到另一点——的计算公式是一样的。[3]

第三种基本作用是：一个电子发射或吸收一个光子——我将把这种作用叫作“联接”或“耦合”，叫什么名称倒是无所谓。为了在我的图上把电子和光子区别开来，电子在时空图上的移动用直线标出。这样，每一次耦合都是两条直线同一条波纹线联接在一起（见图58）。关于释放或吸收一个光子的振幅并没有什么复杂的公式，它也不取决于任何其他量，它就是一个“数”，我把这个决定联接的数称为j，其值是-0.1左右：即缩短约1/10，并旋转半圈。[4]

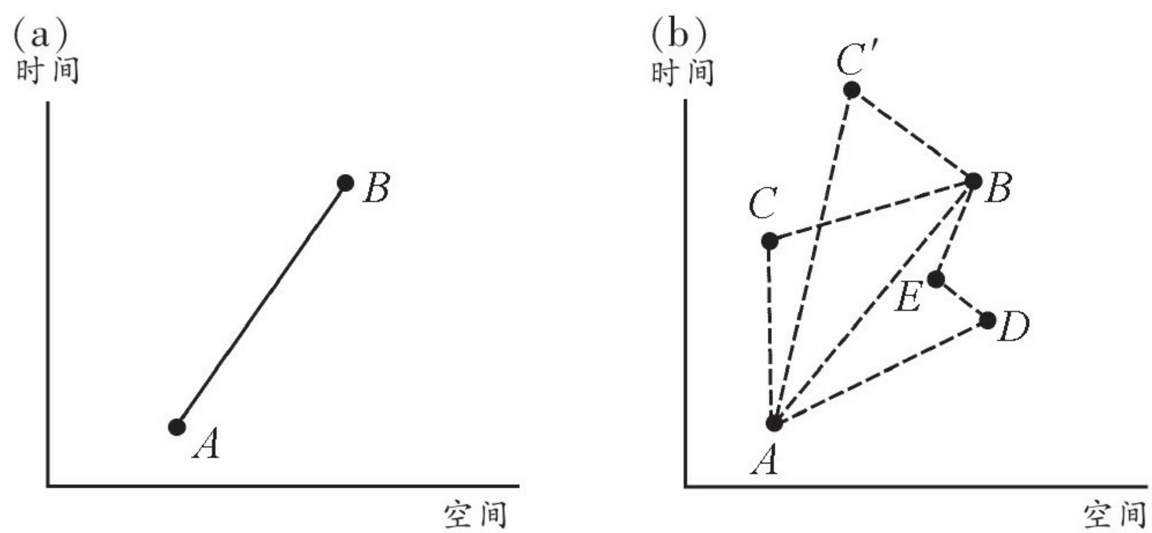


图57　电子自时空图中的一点至另一点的振幅称为“E（A至B）”，虽然我把E（A至B）表示为两点间的直线（a），但我们可以把它想象为许多振幅之和（b），这些振幅包括电子在“两步”路径中于C或C'改变方向的振幅，在“三步”路径中于D和E改变方向的振幅——此外还有自A直达B的振幅。电子可在任意处改变方向，改变次数可以

从零至无穷多。电子在从时空图上A至B的途中改变方向的转折点可以多到无限，所有这些全包含在E（A至B）的公式中。

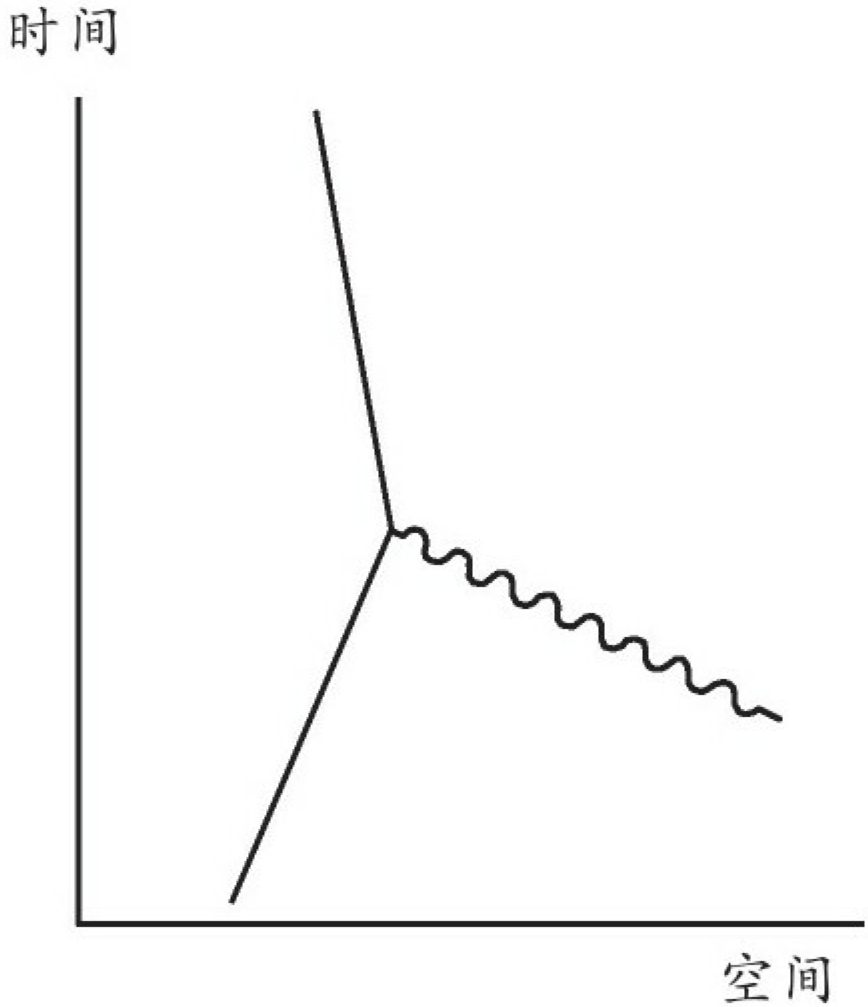


图58　电子（用直线表示）以一定的振幅发射或吸收光子（用波纹线表示），因为发射或吸收的振幅是一样的，我把两者都称为“耦合”。耦合的振幅是一个数，我称之为j；对电子来说它大约等于-0.1（这个数有时也叫作“电荷”）。

好了，几种基本作用我就都讲完了。只是极化我没有讲，极化使问题稍稍复杂一点，我们总把它略去不加考虑。下一步的事情是把这三种作用合在一起来表达更复杂一点的情况。

作为第一个例子，我们计算一下位于时空图上1、2两点的两个电子终止于3、4两点的概率（见图59）。这个事件可以几种方式发生。第一种方式是位于1的电子走到3，——计算时，我们把1、3代入E（A至B）的公式，写作E（1至3）——和位于2的电子走到4——用E（2至4）计算。这是两个相伴发生的子事件，所以这两个箭头相乘就可以得出事件以第一种方式发生的箭头。这样，我们将这“第一方式箭头”写作E（1至3）×E（2至4）。

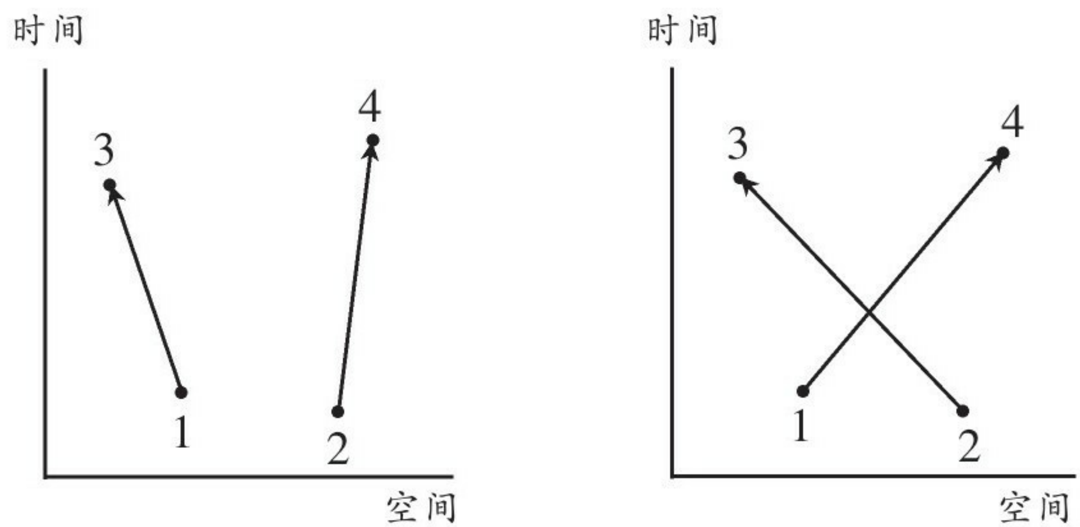


图59　为了计算位于时空图上1、2两点的电子终止于3、4两点的概率，我们用E（A至B）的公式先计算1至3和2至4这“第一种方式”的箭头；然后计算1至4和2至3（交叉路径）的这“第二种方式”的箭头。最后我们将“第一方式箭头”和“第二方式箭头”相加得到最终箭头的一个很好的近似。（对于虚构的简化的“零自旋”电子，上述作法是对的。如果把电子的极化考虑进去，那应将两个箭头相减——而不是相加。）

这事件可能以另一种方式发生，即位于1的电子走到4，位于2的电子走到3——同样，这也是两个相伴发生的子事件，这“第二方式箭头”是E（1至4）×E（2至3），我们把它和“第一方式”箭头加起来。[5]

这对此事件的振幅是个很好的近似。如果要做更精确的计算以便更符合实验结果，我们必须考虑这个事件发生的其他可能的方式。例如，

在这两种主要方式中，每一种都可能出现这样的情况，即一个电子可能突然冲到一旁一个新的好地方，并在那里发射出一个光子（见图60），这期间另一个电子可能跑到另一个新地方并吸收了这个新光子。计算这些新方式中的第一种方式的振幅涉及如下几个量相乘：电子从1到那个新的地方5（它在那里发射一个光子），然后从5到3；另一个电子从2到另一个地方6（它在那里吸收了那个光子），然后从6到4。我们一定别忘记还要包括光子从5到6的振幅。我准备用高级的数学形式写出事件以这种方式发生的振幅，而你们可以跟着来，这就是

E（1至5）×j×E（5至3）×E（2至6）×j×E（6至4）×P（5至6）

这其中包括了很多缩短和旋转。（我想请你们写出另一种情况的符号，即位于1的电子终止于4，位于2的电子终止于3。）[6]

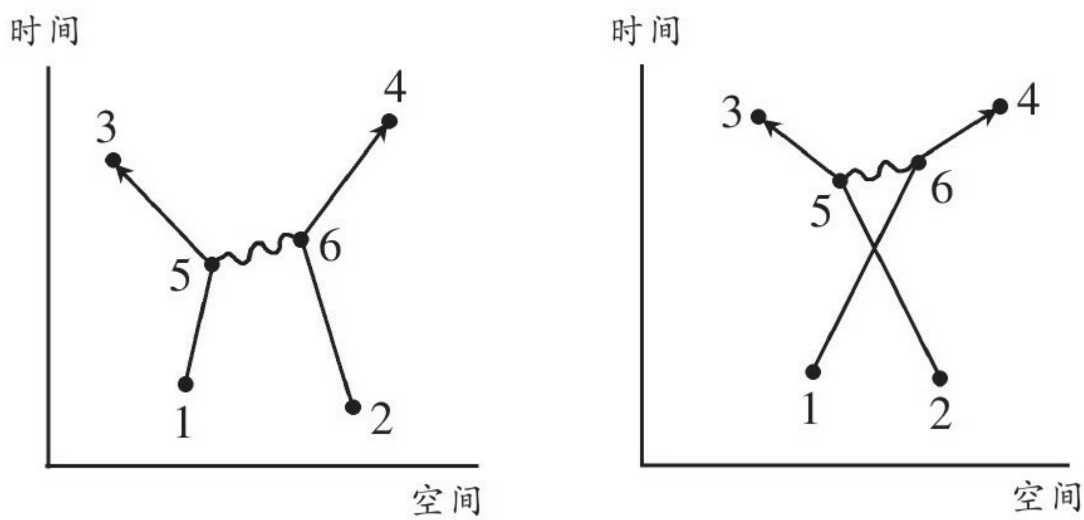


图60　图59中的事件可以两种“其他方式”发生：每种情况都有一个光子在5发射出来，在6被吸收。这两种情况的最终状态与图59的情况一样，两个电子进去，两个电子出来，结果不可区分。所以，要想求得此事件最终箭头的较好的近似，这些“其他方式”的箭头必须加到图59的箭头上去。

但是，且慢！位置5和6可以位于时空图上任何地方——是的，任何地方！这样，所有它们可能位于的那些地方的箭头都必须计算出来并加

在一起。你们看，这工作量就大起来了。规则倒不是很难，这就像下棋一样：规则简单，但你要再三再四不断地应用它们。所以计算的困难是在于不得不把许许多多的箭头弄在一起，这就是研究生为什么一定要用四年的时间来学习如何有效率地做这个相加的工作——而我们现在正在讨论的则是一个容易的问题。（当问题变得太复杂时，就要使用电脑！）

关于光子被发射和吸收，我想指出：如果点6晚于点5，我们可以说光子在点5处发射出，在点6处被吸收（见图61）；如果点6早于点5，我们大概宁愿说，光子在点6处发射出，在点5处被吸收。其实，我们也完全可以同样地说，光子在时间上是倒行的！不管怎么说，我们都不必担心光子在时空图中走的是哪条路，所有的路都包含在P（5至6）的公式中了，我们说光子是“被交换了”，大自然是多么简单啊！这不美吗？[7]

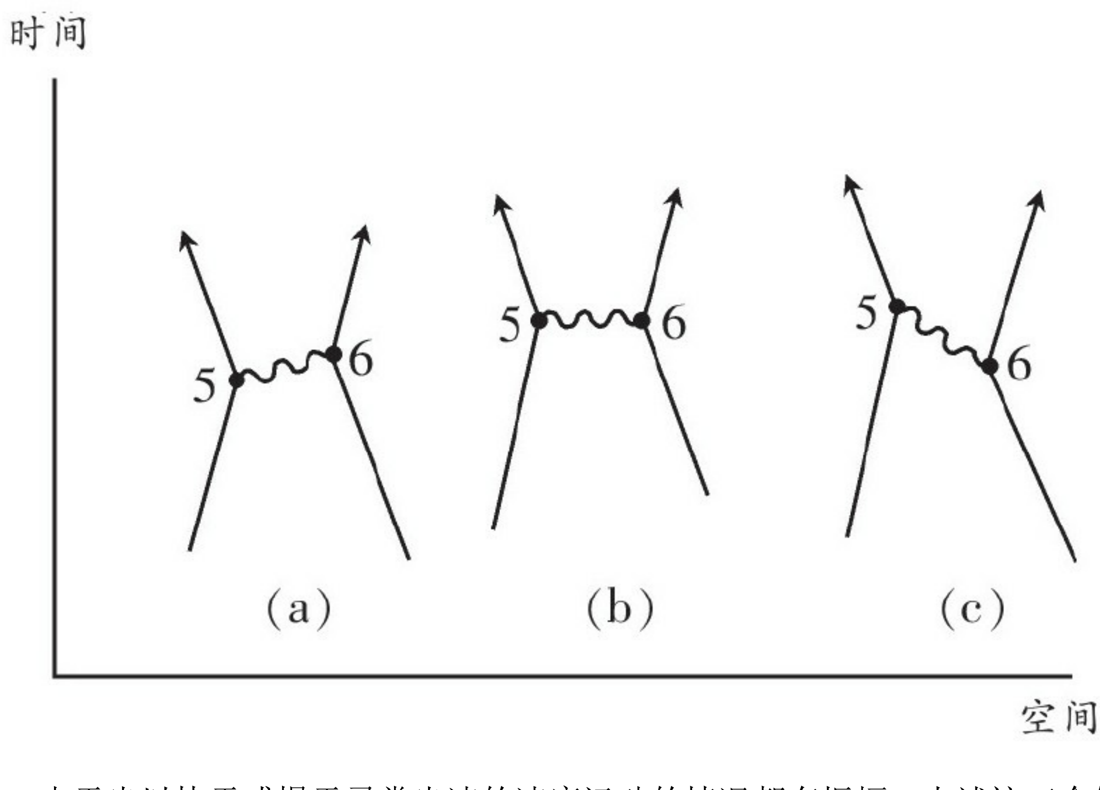


图61　由于光以快于或慢于寻常光速的速度运动的情况都有振幅，上述这三个例子中的光子都可以被认为是从点5被发射出，而在点6被吸收，即使是在例（b）中，光

子的发射和吸收是在同一时间发生的，在例（c）中的光子是发射晚于吸收[例（c）这种情况，你可能更愿意说光子是被6发射而被5吸收，不然的话，光就非要在时间中倒行不可了！]。就计算（和自然界）而言，这些情况都一样（它们也都是可能的），所以我们只是说一个光子“被交换”，并把在时空图上的位置代入公式P（A至B）中。

现在请看，除了5与6两点之间交换的光子之外，7和8两点之间也可能交换另一个光子（见图62）。我真是懒得把所有基本作用（其箭头须乘起来）都写下来，但是，你们可能注意到了——有一条直线，就有一个E（A至B）；有一条波纹线，就有一个P（A至B）；有一个耦合，就有一个j。这样，对每一组可能的5、6、7和8就有六个E（A至B），两个P（A至B），和四个j。这就造成了亿万个小箭头，必须把它们乘起来，然后再加在一起！

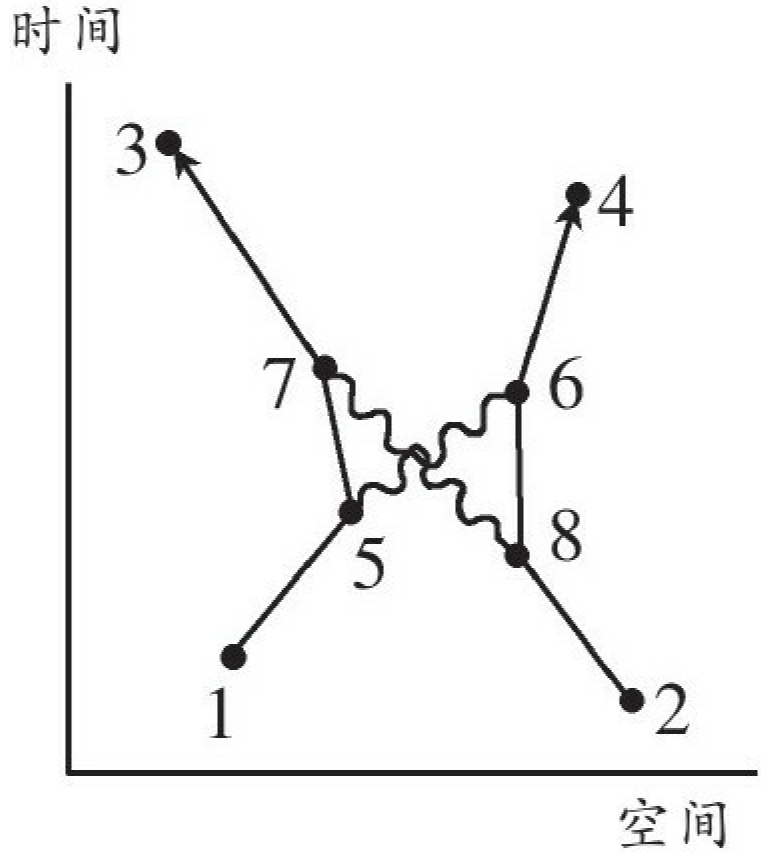


图62　图59中的事件还可能以其他方式发生，这就是可能有两个光子被交换，此方式的作图可有许多种（以后我们会看得更细致），这儿所显示的就是其中一种。它的箭头包含所有可能的中间点5、6、7和8，计算起来很困难。因为j小于0.1，与图59所示的“第一种方式”和“第二种方式”（它们不含j）相比，一般来说，这个长度要小于万分之一（因为计算要含四个耦合）。

看起来，计算这么一个简单事件的振幅都是件无望的事情，但如果你是个研究生，非得要学位不可，你就必须不断做下去。

但是成功的希望还是有的，这就在于那个魔数j。这个事件的前两种可能发生的方式，计算中没有j；下一种方式有j×j。我们讲的最后一种方式是j×j×j×j。由于j×j小于0.01，这就意味着这种方式的箭头比前两种方式箭头的1%还要小，而同j×j×j×j相应的箭头则比没有j的箭头的1%

的1%（即万分之一）还要小。如果你有足够的时间用在电脑上，你可以把概率算得包含j^6——百万分之一，所得的概率可同实验的精确度相配。简单事件就是这样计算出来的。这就是工作的方法，而且全部工作方法就这些，没别的了。

现在让我们看看另一个事件。我们从一个光子和一个电子开始，再终止于一个光子和一个电子。这个事件可能发生的一种方式是：一个光子被一个电子吸收，这个电子又继续前进一点，然后新的光子跑了出来。这个过程叫光的散射。在对散射问题作图和计算时，我们必须包括几个特殊的可能性（见图63）。例如，电子在吸收一个光子之前可能先放出一个光子（见b），甚至更奇怪的是另一种可能性，即电子发射出一个光子，然后在时间上倒退回去，去吸收一个光子，然后过程再沿时间向前发展（见c）。这类“倒行”电子的路径在实验室的实际物理实验中能够看到，确实是真的。它的行为已包含在这些图和关于E（A至B）的公式中。

从时间向前进的角度来看，向后倒行的电子和普通电子是一样的，只不过它要被正常的电子所吸引——我们说它带正电荷。（如果把极化效应考虑在内，就可以明显看出倒行电子的j的符号为什么反过来，正是这点使得电荷为正。）为此，我们把它称为正电子，正电子是电子的姐妹粒子，它是“反粒子”的一个例子。[8]

这个现象是普遍的。自然界中每种粒子都有时间倒行的振幅，所以每种粒子都存在着反粒子。粒子和它的反粒子相撞时，它们相互湮灭并形成其他粒子。（正电子和电子湮灭时，通常形成一个或两个光子。）那么光子怎么样呢？光子在时间中倒行时，在所有各方面都显得完全一样（正如以前看到的那样），所以它们是自己的反粒子。瞧！我们把规则的例外情况处理得多么漂亮！

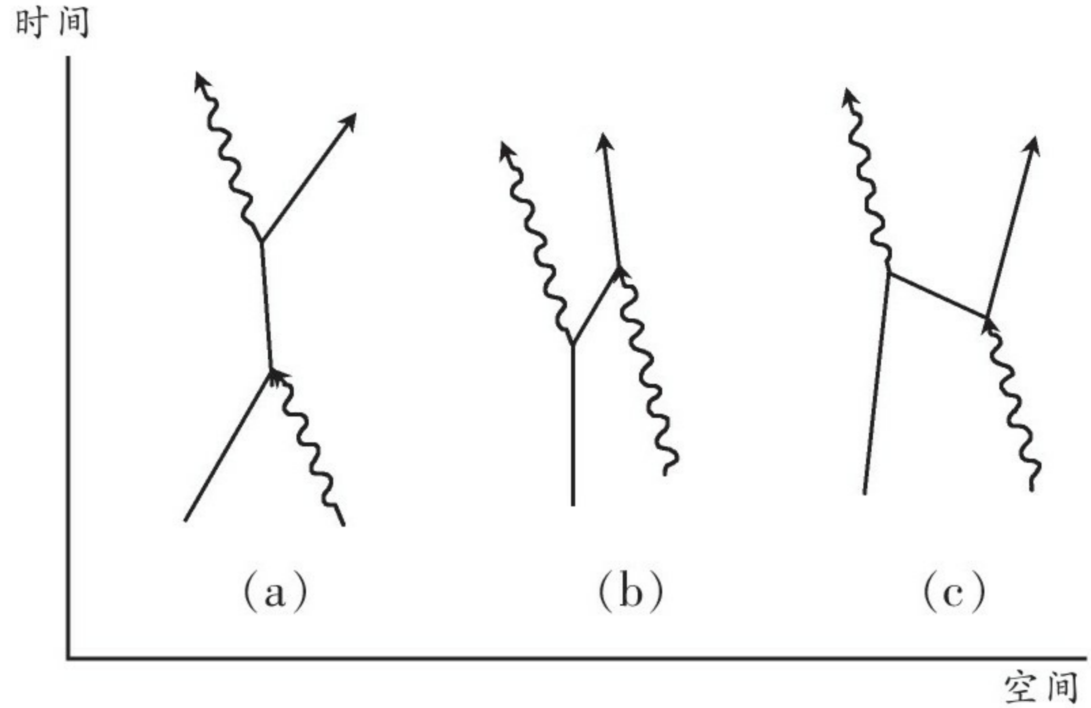


图63　光的散射须包括一个光子进人一个电子和一个光子从电子中出来——顺序不一定如此，如例（b）所示。例（c）所示的是一种奇怪而真实的可能性：电子发射一个光子，再沿时间倒行回来吸收一个光子，然后沿着时间向前进。

我现在想给你们讲讲，当我们沿时间向前时，在时间上倒行的电子在我们看起来是怎样的。我们用一组平行线来帮助眼睛，这组平行线将图形分割为时间区域，T_0至T_{10}（见图64）。我们从T_0开始，这时，一个电子移向一个光子，而这个光子的运动方向则正相反。突然，在T_3处，这个光子变为两个粒子——一个正电子和一个电子。正电子存在的时间不长，它很快就奔向原来那个电子，在时间T_5，它们湮灭并产生一个新的光子。在这段时间，初始光子在不久前造出来的那个电子在时空图中继续前进。

下一个我准备讨论的问题是原子中的电子。为了理解原子中电子的行为，我们不得不把原子中另外一部分加上，这就是原子核——位于原子中心的很重的部分，它包括至少一个质子（一个质子就是一个“潘朵

拉的盒子”[3]，下一讲时，我们将打开这个盒子）。这一讲里，我不讲关于核的行为的正确规律，它们非常复杂。但是，在核静止不动的这种情况下，我们可以近似地把它的行为看作是一个粒子在时空图上从一点到另一点的振幅按E（A至B）的公式计算的粒子，只是n值要高得多。因为与电子比起来核要重得多，我们这里可以对它做近似处理，即认为随着时间的前进，它在空间中实际上停在原处不动。

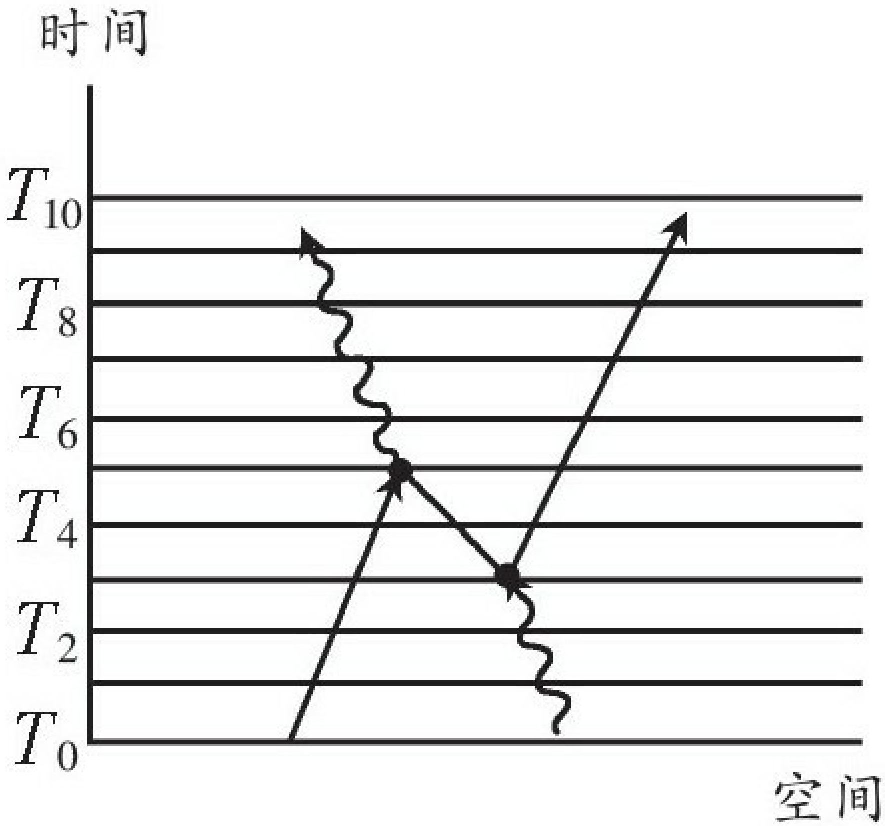


图64　仅以活动都是沿时间的前进方向（因为在实验室里我们非这样做不可）来看图63中的例（c），从T_0到T_3，我们看到一个电子和一个光子相向运动，突然在T_3，这个光子“分裂”，出现两个新粒子——一个电子和一种新粒子（叫作正电子，是时间上倒行的电子）。这个新粒子显然朝初始电子移动。在T_5，正电子与初始的电子湮灭，产生一个新光子。在此期间，初始的光子创造的那个电子在时空图中继续前进。这一系列的事件均可在实验室观察到，并自动地包含在E（A至B）的公式中，而无须任何修正。

最简单的原子叫氢，它有一个质子和一个电子。靠着交换光子，质子一直把电子束博在自己周围，让它绕着自己跳舞（见图65），[9]包含一个以上质子和相应数量电子的原子也散射光（空气中的原子就散射太阳光并使天空呈蓝色），但这些原子的示意图里包含的直线和波纹线太多，以致完全乱作一团。

现在我给你们看看氢原子中的电子散射光的图（见图66）。当电子同核交换光子时，一个光子从原子外面进来，打到电子上并被电子吸收，然后放出一个新的光子。（同以往一样，也有其他可能性要考虑，比如在老光子被吸收之前，新光子就释放出来了。）电子能够散射一个光子的所有路径的总振幅可以总和为单独一个箭头，即一定量的缩短和旋转。（我们以后将把这箭头称为“S”。）这个缩短和旋转的量取决于核以及电子在原子中的布眉，不同的物质这个量是不同的。

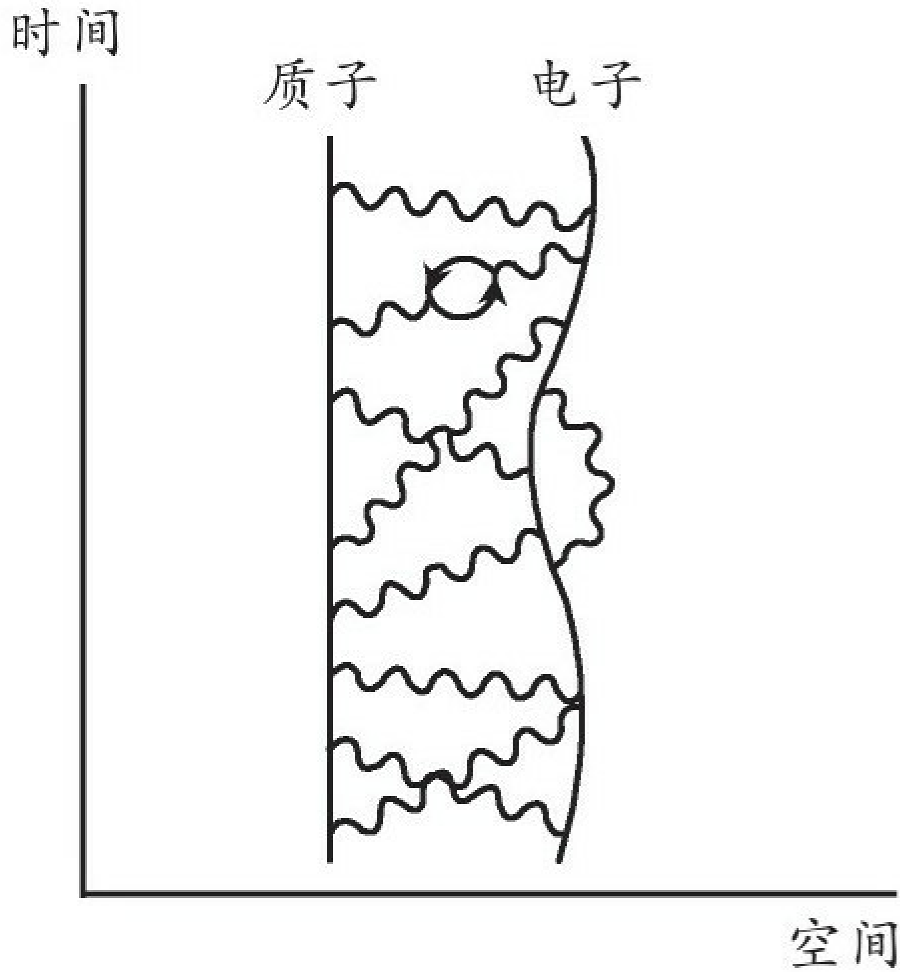


图65　电子通过与质子（一个“潘朵拉的盒子”，第四讲将仔细讨论）交换光子而被束博在原子核附近的一定范围内。而现在可以把质子近似地看成是一个静止的粒子。这里回的是氢原子，它由一个质子和一个与之交换光子的电子组成。

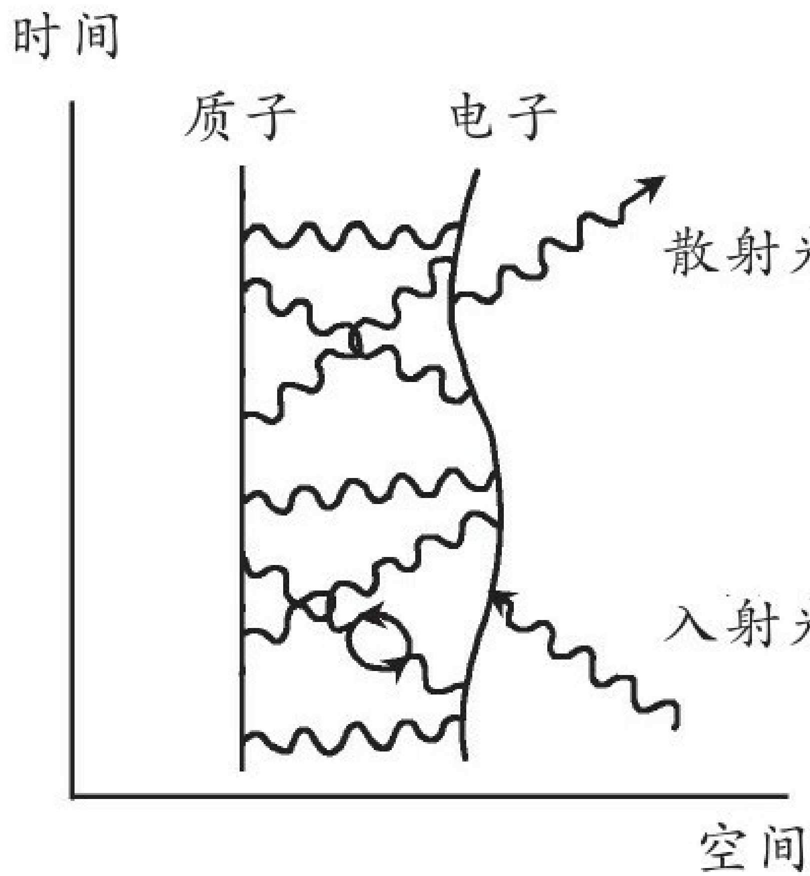


图66　光被原子中的电子所散射，这是玻璃部分反射的原因，此图是这个事件在氢原子中发生的一种可能的方式。

现在，让我们再次看看光被一片玻璃部分反射的情况。这个反射是怎样进行的呢？我曾经讲过光是从前表面和后表面反射的。表面反射这个概念是我做的简化，为的是使讲座开头时容易些。光实际上不是被表面反射的。一个入射光子被玻璃里的原子中的电子所散射，然后一个新光子返上去到达探测器。有趣的是，我们无须把玻璃里面所有电子的亿万个小箭头（每个箭头代表该电子散射一个入射光子的振幅）通通加起来。我们可以只把“前表面”和“后表面”的反射的两个箭头加起来，所得的结果是一样的。让我们看看这是为什么。

为了从新的观点来讨论一个薄层反射的问题，我们必须考虑时间这

一维。前面，我们在讲到单色光源发出的光时，我们用了一个想象的秒表对光子的运动记时——这个秒表的指针给出某一指定路径的振幅的角度，在公式P（A至B）——这是光子从一处至另一处的振幅——中，没有涉及旋转。秒表怎么了？为什么不转了？

在第一讲里我只谈到了光源是单色的情况，为了正确分析一个薄层的部分反射，我们需要对单色光源了解得更多一些。一般说来，光子被光源发射出来这个事件的振幅是随时间变化的：当时间前进时，一个光子为光源所发射的振幅的角度将改变。白光（多种色光混合在一起）光源以混乱的方式发射光子，就是说振幅的角度一阵阵突然而且无规则地变化。但是，在我们建造一个单色光源时，实际上在制作一个已精心安排好的装置，它使得某一时刻一个光子被发射出来的振幅很容易计算出来：这个振幅像秒表针一样以恒定速度改变角度。（实际上，这个箭头以同我们以前采用的想象中的记秒表同样的速度旋转，只是方向相反——见图67。）旋转的速率取决于光的颜色：对蓝光源来说，振幅的转速是红光源的两倍，这同我们前面所讲的一样。这样，我们用作“想象中的秒表”的记时器就是单色光源——事实上，一个给定路径的振幅的角度取决于光子何时从光源发射出来。

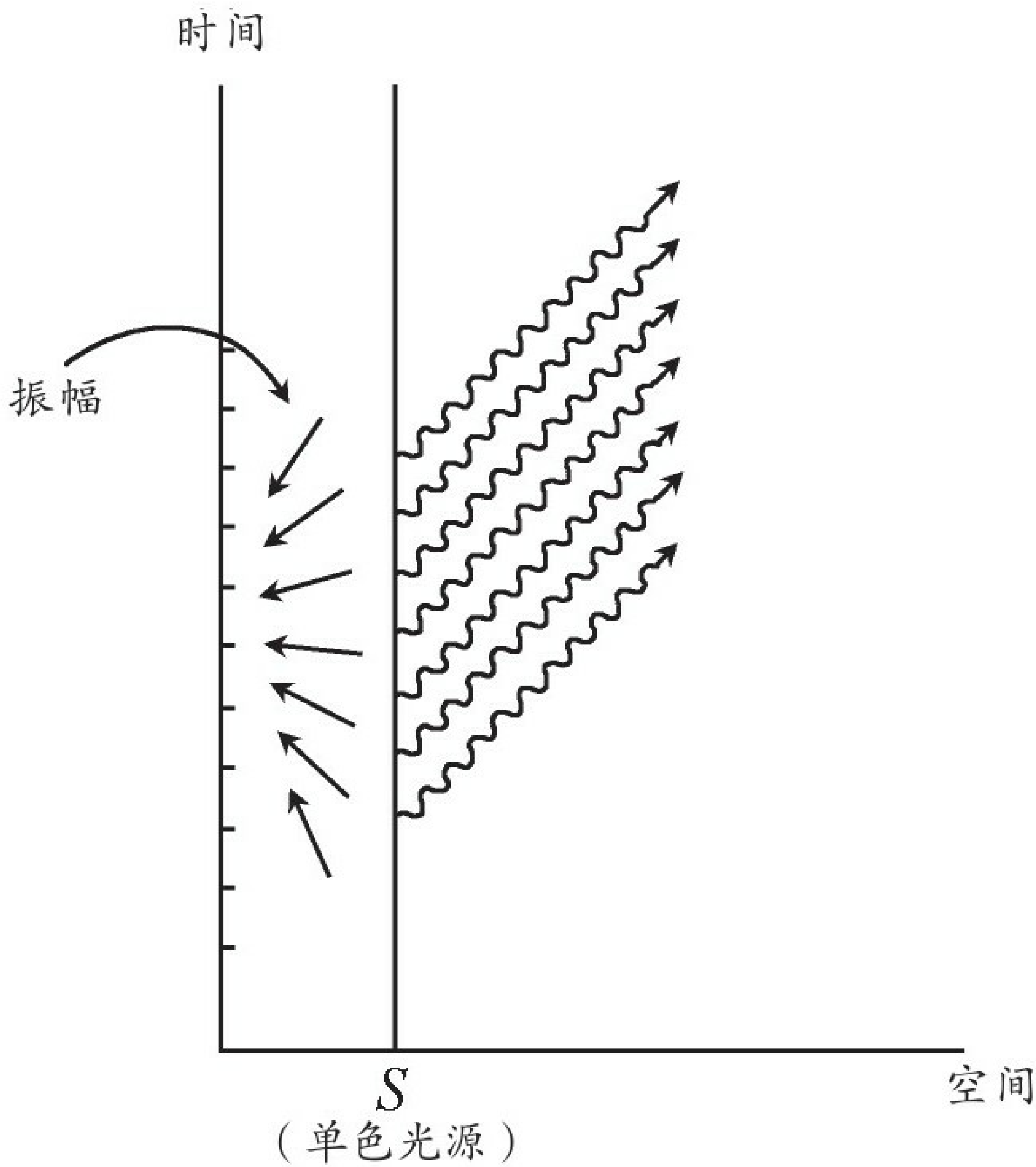


图67　一个单色光源是一架构造得极美的装置，它能够以可预测得相当好的方式发射光子：光子在某时刻被发射出来，这个事件的振幅随时间的前进而以逆时针方向转动，这样，该光源在稍晚时刻发射光子的振幅，其角度要稍小一点。这里假设从光源中发射出来的光子，都以速度c运动（因为距离相当大）。

光子一旦发射出来，它在从时空图的一点到另一点的过程中箭头就不再转了。虽然公式P（A至B）告诉我们光以不同于c的速度从一点到

另一点的振幅并不是零，但在我们的实验中，光源到探测器的距离相当大（同一个原子相比），在相互抵销之后，对P（A至B）的长度真有贡献的就只有速度c了。

在开始对部分反射做新的计算之前，我们先对A处的探测器在某一时刻的一声作响给个完整的定义。我们把玻璃分成若干薄层——例如分成六层吧（见图68a）。在第二讲我们得知几乎所有的光都是从玻璃的中央反射的，从这个分析可以知道虽然每个电子都向所有的方向散射光，但当把每一层的所有箭头都加起来以后，唯一没有抵销掉的地方就是光向下直射到这些层的中间部位的地方，光在这里可沿两个方向散射——直返上去到探测器，或直接下来通过玻璃。将代表竖直通过玻璃的六个中心点（X_1至X_6）的光散射的箭头都加起来就确定了这个事件的最终箭头。

好！现在我们就来计算光经过X_1至X_6可能走的每一条路径的箭头。每一条路径都涉及四步（这意味着有四个箭头要相乘）：

——第一步：一个光子在某一时刻被光源发射出来。

——第二步：该光子从光源到达玻璃里这六个点中的一点。

——第三步：该光子被该点的一个电子所散射。

——第四步：一个新光子寻路上来到达探测器。

我们会说第二步和第四步（一个光子走向或离开玻璃的某一点）的振幅没有缩短或旋转，因为我们可以假设在光源和玻璃之间或玻璃和探测器之间没有光损失掉或分散开。对于第三步（一个电子散射一个光子），散射的振幅是个常数——即缩短和旋转某一定量S——而且在玻璃中各处都是一样的。（我以前提到过这个量随物质的不同而不同。对

玻璃来说，S的旋转为90°。）这样看来，在需要相乘的四个箭头中，只有第一步的箭头（即光子在某一时刻被光源发射出来的振幅），对不同的光子来说是不同的。

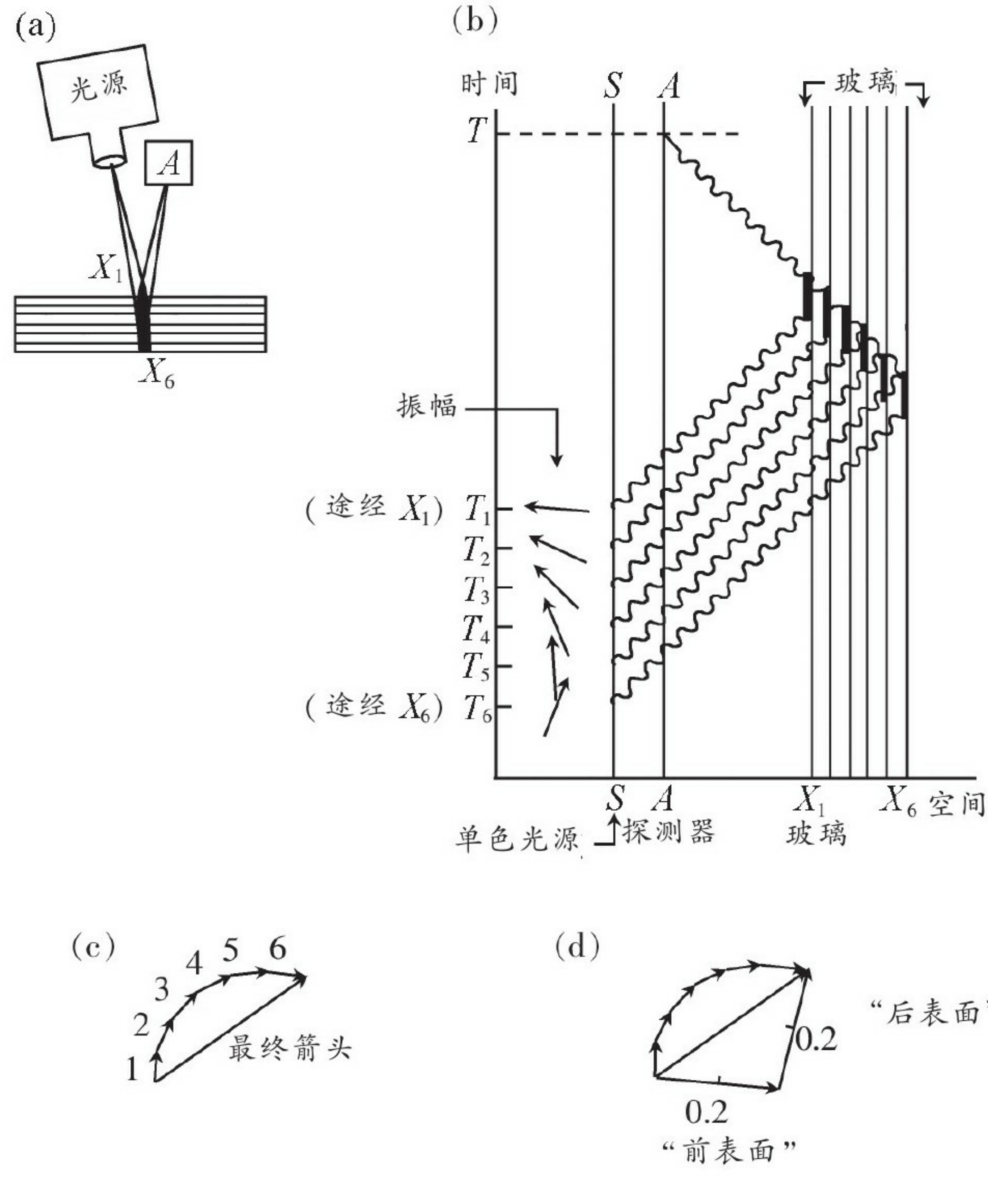


图68　我们对部分反射做个新的分析，先将这片玻璃分为若干薄层（这里是六层），然后看光从光源到玻璃再返上去到达A处探测器的各种方式。玻璃中最重要的几个点是每层中央的点（这里光散射的振幅不被抵销掉）。（a）中示出X_1至X_6在玻璃中的实际位置；（b）则示出它们在时空图竖直线上的位置。我们要计算的是在某时刻T, A处的探测器作响这事件的可能性。就是说，这个事件就是时空图上的一点（A与T的相交处）。对于这个事件发生的每一条可能途径，都一定按顺序先后走四步，所以这四个箭头应该相乘。这四步在（b）中示出：①一个光子在某一时刻离

开光源（T_1至T_6的箭头代表此事件在这六个不同时刻的振幅）；②光子从光源到这六个点中的一点（六者在图中以向右上方倾斜的六条波纹线示出）；③位于这六点中一点的电子散射一个光子（以短粗的纵线标出）；④一个新光子向探测器奔去，并在时刻T到达（以向左上方倾斜的波纹线标出）。对这六个可能途径而言，它们的2、3、4步的振幅是相同的，只是第一步的振幅不同：与被玻璃表层的电子（位于X_1）散射的光子相

比，被较深的第二层散射出来的光子必须于早些时候（T_2）离开光源。将每一种可能路径的四箭头乘起来，得出的箭头[如（c）所示]短于（b）中所示的箭头，而且都转了90°（这同玻璃中电子的散射特性相一致）。将这六个箭头按顺序相加，它们组成一个弧形，最终箭头是它的弦。用另一种方法同样可以得出这个最终箭头，如（d）所示，回两个半径箭头，令它们相减（即把“前表面”的箭头转到相反方向，并将它同“后表面”箭头相加），这就是我们在第一讲中采取的捷径。

必须在时刻T到达探测器A的诸光子，它们被发射出来的时间（见图68b），对六个不同的路径不是一样的。在X_2处散射的光子被发射出来的时间要比在X_1处散射的光子被发射出来的稍微早一点，因为经过X_2的路径稍长一些。这样，T_2处的箭头要比T_1处的箭头旋转得多一点，因为单色光源在某一时刻发射出一个光子的振幅随发射时间的前进而以逆时针方向旋转。同样的道理适用于从T_1直到T_6的所有箭头：这六个箭头的长度全都一样，但它们旋转到不同的角度，就是说，它们指向不同的方向，因为它们代表光源在不同时间发出的光子。

在将T_1处的箭头按照第二、三、四步指示的量缩短，并按第三步所指示的旋转90°以后，我们得到箭头1（见图68c）。用同样的方法我们得到箭头2一6。这样，箭头1一6的长度都相同（经缩短后），而且旋转后六个箭头相互间的角度与在T_1至T_6六个时刻这几个箭头相互间的角度完全相同。

下面我们要将箭头1至6加起来。将这些箭头从1至6按顺序联结起来，我们就得到一个类似弧形或半圆的图形。最终箭头是这个弧的弦。最终箭头的长度随玻璃厚度的增加而增加——较厚的玻璃意味着可分为较多的薄层、有较多的箭头，从而弧在圆上占更大的部分——直到弧达到半圆那样大（即最终箭头是该圆的直径）。然后，最终箭头的长度就随玻璃厚度继续增加而变短，当完成一个圆后又开始一个新的圆。这个长度的平方就是这个事件的概率，它以0至16%的循环周而复始地变化。

数学上有个窍门，我们可以用它来得到同样的答案（见图68d）：如果从这个“圆”的中心到箭头1之尾和箭头6之头分别回两个箭头，我们会得到两个半径。如果将从圆心到箭头1的半径箭头旋转180°即被“减去”，那么将它同另外那个半径箭头合成，就会得到同样的最终箭头！这就是我在第一讲中所做的：这两个半径就是我所说的分别代表“前表面”反射和“后表面”反射的两个箭头。它们的长度均为那个著名的0.2。[10]

这样，通过不真实地想象所有的反射都仅来自前后两个表面，我们就可以得到关于部分反射概率的正确答案，在这个依直觉所做的简单分析中，“前表面”与“后表面”箭头是能够给我们正确答案的数学上的作图法；而我们刚才用时空图和组成部分圆的箭头所做的分析才是比较准确地代表真实发生的情况：部分反射是玻璃内部的电子对光的散射。

现在我们来看，通过了这片玻璃的光又怎样了呢？首先，有一个振幅是相应于光子直线通过玻璃，没有碰上任何电子（见图69a）。按长度来说，这个箭头是最重要的。但是，光子还有六个其他途径能够到达玻璃下面的探测器：光子可能到达X_1并散射出一个新光子落到B上；光子也可能到达X_2，散射出新光子落到B上，等等。这六个箭头的长度都与前面那个例子中组成“圆”的那些箭头长度一样，因为它们的长度都是

基于玻璃内一个电子散射一个光子的相同振幅S。但这次所有这六个箭头都指向同一方向，因为都只有一次散射的这六条路径的长度是相同的。这些小箭头的方向同透明物质（如玻璃）的主箭头成直角。这些小箭头与主箭头相加，结果使得最终箭头的长度与主箭头一样，但稍稍偏转了一点方向。玻璃越厚，小箭头越多，最终箭头偏转得越多。这就是聚焦透镜真正的工作方式：厚度较大的玻璃嵌入较短的路径中，使得所有路径的最终箭头能够指向同一方向。

如果光子在玻璃中比在空气中行进得慢，也会出现同样的效应，因为最终箭头要旋转得多些。这就是为什么我早些时候说看来光在玻璃（或水）中行进得比在空气中要慢一些。实际上，光行进得“慢些”是玻璃（或水）中的原子散射光引起的额外旋转造成的。光在通过给定物质时最终箭头额外旋转的程度称为该物质的“折射率”[11]。

对于透明体，这些小箭头同主箭头成直角（如果我们将双散射、三散射考虑在内的话，这些小箭头实际上是向内弯进来的，以确保最终箭头不会长于主箭头：自然界永远设法做到这一点，所以投进来的光是多少，我们就得到多少，永远不能多得一点）。对于半透明物质（它们吸收一部分光），小箭头指向主箭头，这就使得最终箭头比主箭头小得多[如（b）所示]，这较短的最终箭头就代表一个光子透射通过半透明体的已变小的概率。

对于吸收光的物质来说，小箭头与主箭头之间夹角小于直角（见图69b）。这就使得最终箭头比主箭头短，这意味着光子通过半透明玻璃比通过透明玻璃的可能性要小。

这样，前两讲中提到的所有现象和任何一个数字，诸如部分反射的振幅为0.2，光在水和玻璃中的“变慢”，等等，用这三种基本作用都可以解释得更为详尽——事实上，这三种作用确实也解释了几乎所有其他现象。

大自然千变万化的现象几乎全都是这三种基本作用千篇一律的不断组合的结果，这真让人难以置信。但事实确实如此。下面我概略地讲一点这种“千篇一律”怎样导致“千变万化”。

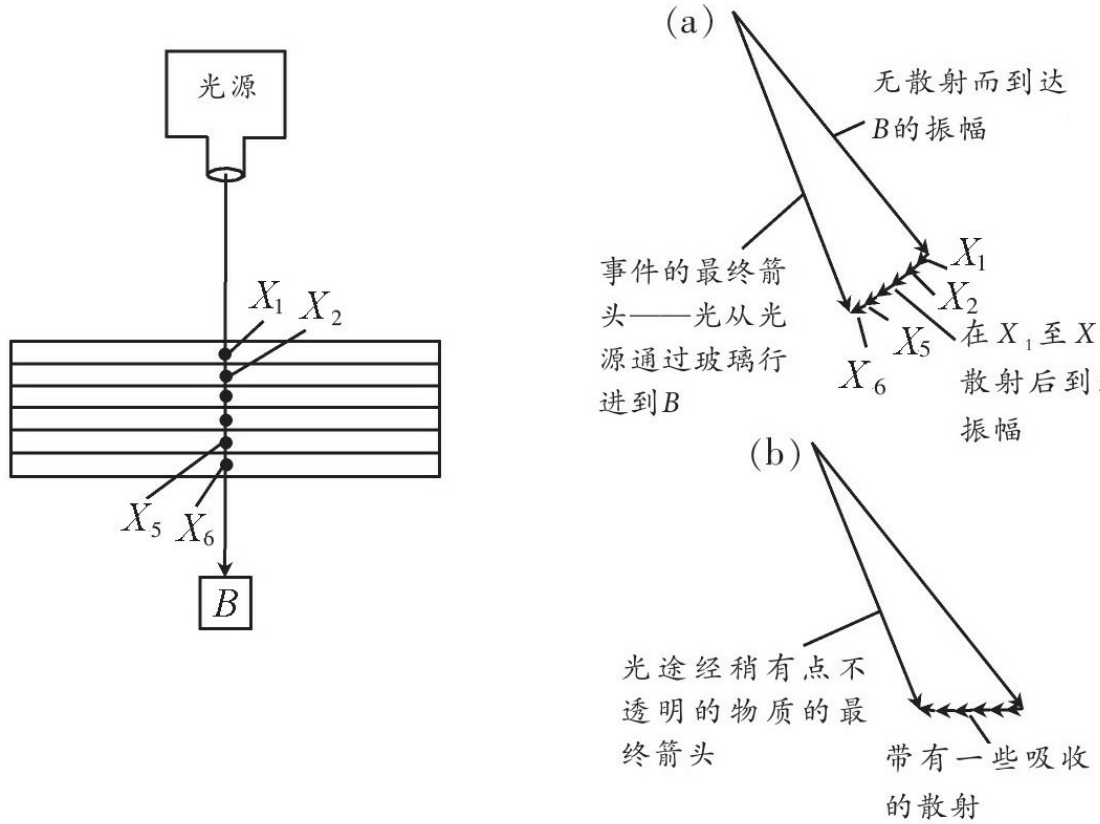


图69　光不为玻璃中的电子所散射而直接通过玻璃的振幅是光从这层玻璃透射出来到达探测器B的最大振幅[如（a）所示]。将它与代表光从这六层中每一层（以点X_1至X_6为代表）散射的六个小箭头相加。这六个小箭头长度相同（因为玻璃中各处的散射振幅都是相同的），并指向同一方向（因为从光源途经六点中任意一点再到B长度都是一样的）。将这六个小箭头同那个大箭头相加以后，我们发现光从一片玻璃透射出来的最终箭头，比起“光通过玻璃（无散射地）直接出来”的箭头，要偏转得多一些。因此在我们看起来，光通过玻璃比通过真空和空气要用更多的时间。由于物质中的电子而导致最终箭头的额外偏转量就叫作“折射率”。

我们可以从光子讲起（见图70）。在时空图上位于1、2两点的两个光子到达位于3、4两点的探测器的概率是多少？这个事件可以两种主要

方式发生，每一种方式都取决于相伴发生的两件事：光子可以直达，即P（1至3）×P（2至4），也可以交叉进行，即P（1至4）×P（2至3），这两种可能性的结果振幅相加，就有了干涉（正如我们在第二讲中看到的）。这个干涉使得最终箭头的长度发生变化，变化的大小取决于所取各点在时空图中的相对位置。

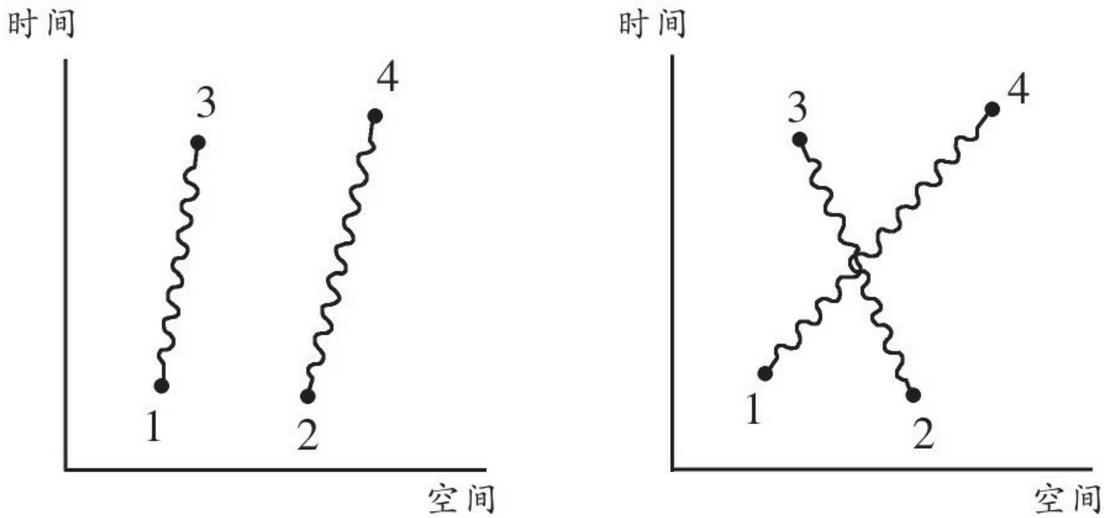


图70　位于时空图上点1和点2的光子到达点3和点4的振幅可近似地考虑为由两种主要的方式组成：P（1至3）×P（2至4）和P（1至4）×P（2至3）（如图所示）。随着点1、2、3、4的相对位置不同，干涉程度也不同。

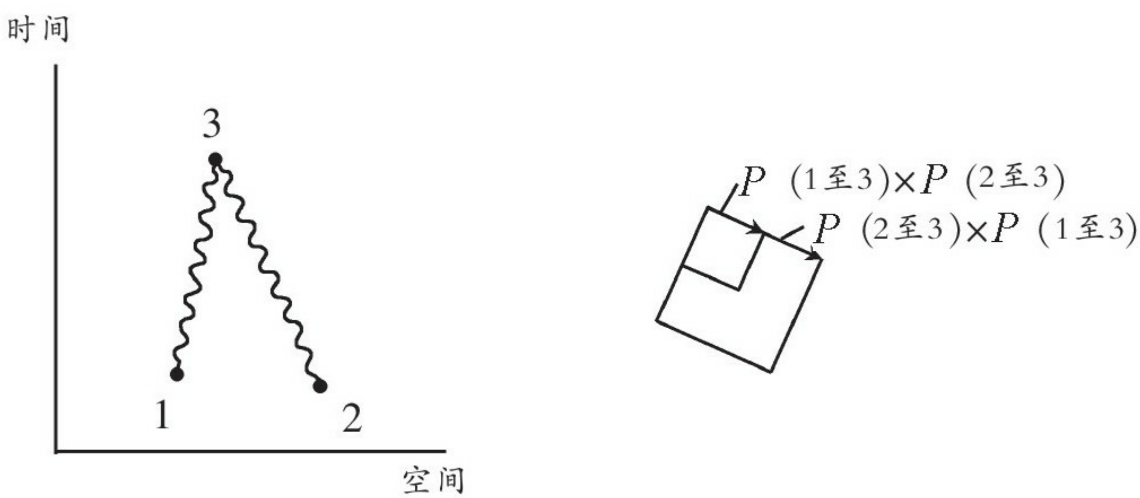


图71　如果点4和点3重叠在一起，那么P（1至3）×P（2至3）同P（2至3）×P（1至

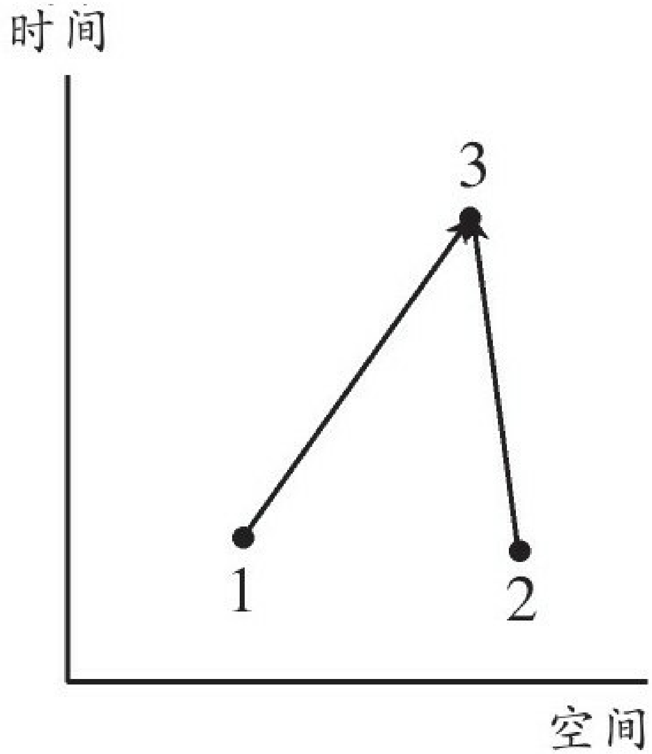
3）这两个箭头在长度和方向上完全一样。相加时这两个箭头总是成直线排列，构成其中任一箭头的两倍，而最终箭头的平方则是其中任一箭头平方的四倍。所以，光子倾向于奔向时空图中的同一点。光子越多，这个效应越大，这就是激光作用的基本原理。

如果我们使点3和点4位于时空图中同一点，情况会怎么样呢（见图71）？比如说，这两个光子都终止于点3，让我们看看这对事件的概率会有什么样的影响。现在我们有P（1至3）×P（2至3）和P（2至3）×P（1至3），这是两个全同箭头。相加时，两箭头之和的长度是每个箭头的两倍，而最终箭头的平方是每单独一个箭头的平方的四倍，因为这两个箭头是全同的，它们永远是“成直线排列”。换句话说，干涉不会由于点1和点2之间的相对间隔而起伏；它永远是相长干涉。如果没想到这两光子永远是相长干涉这一点，我们就会以为应该得到（平均说来是）两倍的概率。可我们得到的总是四倍的概率。当光子相当多时，这种多于预期的概率甚至还要增加。

这会导致若干实际的效应。我们可以说光子倾向于进入同一条件，或者说同一“状态”（指在空间不同点发现一个光子的振幅不同的情形）。如果有几个光子已经处于某一状态（只要原子能够发射这个状态的光子），那么原子发射处于这个状态光子的机会就会增加。这个“爱激发射”的现象是爱因斯坦发现的，当时他正在由于提出光的量子模型而创立量子理论。激光的工作就是基于这个现象。

如果我们拿虚构的、自旋为零的电子同光子作比较，那么电子也会发生同样的事情。但是，在真实世界里电子是极化的，所以，事情就大不一样了：E（1至3）×E（2至4）和E（1至4）×E（2至3）这两个箭头相减，就是说在相加之前，这两个箭头中要有一个旋转180°。当点3和点4是同一点时，这两个箭头长度和方向都相同，所以相减时它们就抵销了（见图72）。这意味着电子和光子不同，它们不喜欢走到同一点去；它们之间像躲避瘟疫一样互相躲着——没有两个极化相同的电子能

够处于时空图的同一个点上——这就是所谓的“不相容原理”。



$$E(1至3)\times E(2至3) \rightleftarrows E(2至3)\times E(1至3)$$

图72　如果两个电子（极化相同）试图达到时空图上的同一点，那么由于极化效应，干涉永远是相消干涉：两个相同的箭头E（1至3）×E（2至3）和E（2至3）×E（1至3）相减使得最终箭头为零。两个电子讨厌出现在时空图上同一点，这叫作“不相容原理”，它是宇宙间存在大量不同原子的原因。

这个不相容原理原来就是原子具有千千万万种不同化学性质的根由。一个质子同围它跳舞的一个电子交换光子，它就叫作氢原子。两个质子同它周围的两个（极化方向相反的）电子交换光子，它就叫作氦原子。你们看，化学家数数儿的办法真复杂：他们不说“一、二、三、四、五个质子”，偏要说“氢、氦、锂、铍、A字”。

电子只有两种可能的极化方式，这样，在核内有三个质子（可同三个电子交换光子）的原子——锂原子中，第三个电子与另两个电子（这两个电子占满了离核最近的可占位置）相比，离核比较远，与质子交换的光子也比较少，这就使得这个电子很容易在来自其他原子的光子的影响下，逃离自己所属的核。大量这种原子凑在一起，就很容易失去它们各自的第三个电子，从而组成一个在原子与原子之间到处游泳的电子海。对任何一点小的电力（光子），这个电子海都会有反应，从而形成电流——我现在讲的是锂金属的导电性。氢和氦原子不会将自己的电子丢给其他原子，它们是“绝缘体”。

所有各种原子——有一百多种——都是由一定数目的质子（它们与同数量的电子交换光子）组成的。它们聚成原子的形式复杂多样，从而展示出千变万化的各种性质：有些是金属，有些是绝缘体；有些是气体，另一些是晶体；有软东西，有硬东西；有带颜色的东西，也有透明体——简直是形形色色、五花八门，让人目不暇接，所有这些都来源于“不相容原理”和那三个很简单的作用P（A至B），E（A至B）和j的不断重复。（如果这个世界上的电子是非极化的，那么所有的原子都会具有同样的性质：所有电子将群居在一起，紧靠着自己的原子核，它们不会那么容易被其他原子所吸引而发生化学反应。）

你也许会奇怪，这么简单的几个作用怎么会产生如此复杂的世界。这是因为我们在这个世界上所看到的现象是极其大量的光子的交换和干涉错综复杂地交织在一起的结果。知道这三种基本作用仅仅是朝着分析任何一种真实情况迈进的一小步，光子的交换量极大，多到不可胜数——至于哪种可能性比较重要，那就要凭经验了。这样，我们发明了诸如“折射率”“压缩系数”“原子价”等概念，在有大量细节需要考虑时，我们借助这些概念作近似计算，知道这三种基本作用同懂得下棋规则类似——下棋规则是基本而简单的，但要能够下好棋，就要懂得棋盘上每个位置的特点，各种情况的性质，而掌握这些，那可是高深多了，困难多

了。

物理学有很多分支，诸如研究为什么铁（有26个质子）是磁性的，而铜（有29个质子）却无磁性，或者为什么一种气体是透明的，而另一种气体却不透明等等，这些分支叫作“固体物理学”，或“液态物理学”，或“实际的物理学”。而发现了这三种简单的小作用（最容易的部分）的分支学科，我们把它叫作“基础物理学”——我们把这个名称偷了来，是为了使其他物理学家感到不舒服！在今天，最令人感兴趣的问题——当然也是最实际的问题——显然是固体物理学中的问题。但是有些人则说再没有什么能比一个好理论更实际的了，而量子电动力学理论就不折不扣地是个好理论。

最后，我想返回来讲一讲1.00115965221这个数，我在第一讲中谈过人们曾仔细地测量和计算它。这个数代表一个电子对外磁场的响应，我们把它称为“磁矩”。在狄拉克首先想出规则来计算这个数时，他使用了公式E（A至B）并得出了很简单的答案，我们将把这个答案看作1（在我们的单位体系中）。电子磁矩的一级近似图形是很简单的——一个电子在时空图上从一点移到另一点，并与来自一个磁体的光子相耦合（见图73）。

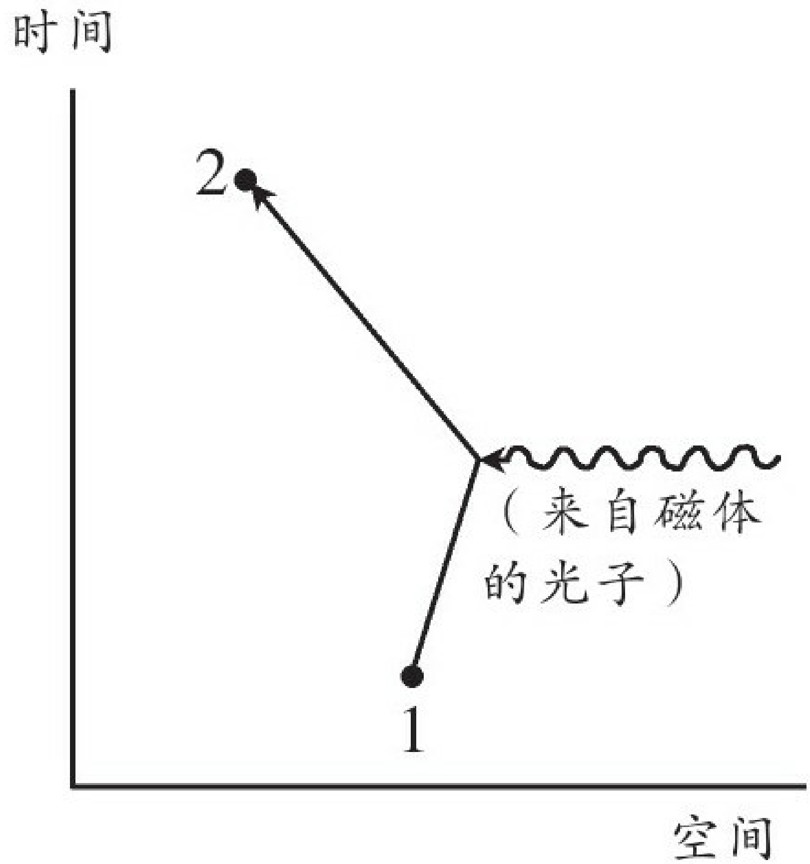
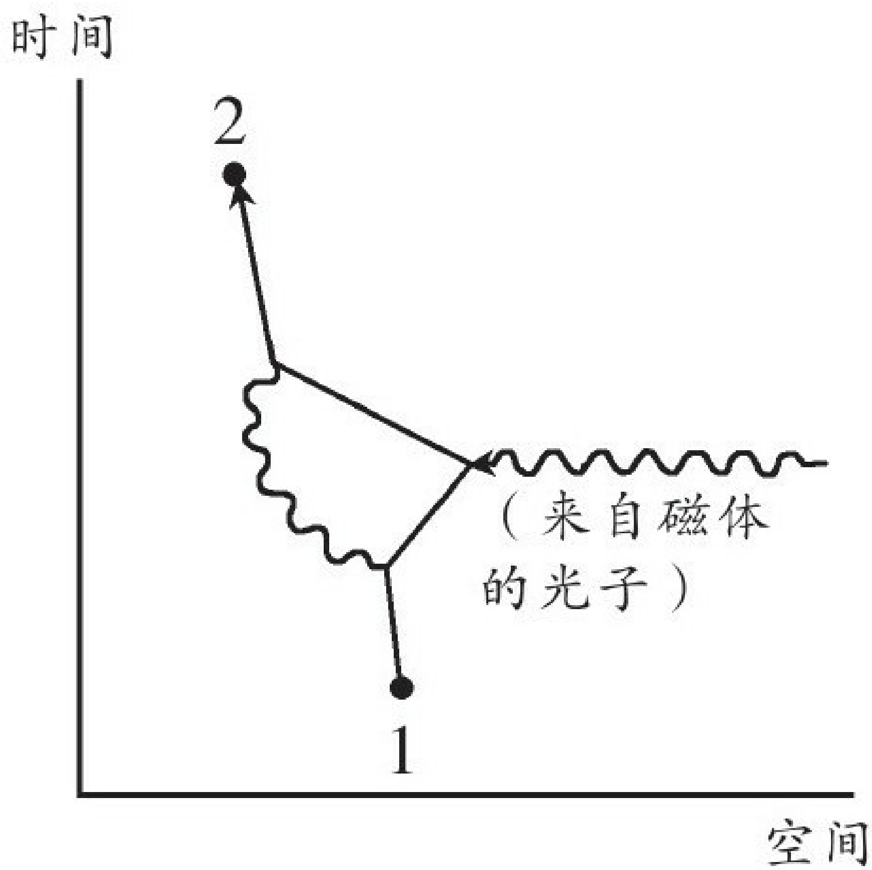


图73　狄拉克计算电子磁矩的图是很简单的。这个图所代表的值将被称为1。

几年以后，人们发现这个值并不精确地为1，而是稍大一点——约为1.00116。这个修正数第一次是1948年由施温格（J.Schwinger）用j×j除以2π得到的，修正的理由是，电子从一点到达另一点还可以有另一条路径，这就是说，电子不是从一点直接到另一点，它也可以向前移动一会，突然放出一个光子，然后（你说可怖吧）又把自己那个光子吸收回来（见图74）。恐怕这么做有点不那么“道德”，但电子确实就这么干！要计算出这另一条不同路径箭头的大小，我们必须在时空图上凡是光子能够被发射和光子能够被吸收的所有各处全回上箭头。这样，就应有两个额外的E（A至B）、一个P（A至B）和两个额外的j，将所有这些乘起来。研究生要在研究生院的第二学年的初级量子电动力学课上学习如何做这个简单的计算。

图74　实验室中的实验表明，电子磁矩的实验值不是1，而是比1稍大一点。这是由于还存在其他可能方式。电子可能发射出一个光子，然后再把它吸收——这需要两个额外的E（A至B）、一个P（A至B）和两个额外的j，施温格将这种可能性考虑在内计算出来的修正值是j×j除以2π，因为这种方式从实验上无法同电子原来那种方式（一个电子从点1出发到达点2）分开，所以这两种方式的箭头应相加，于是出现干涉。



但是，且等一下：实验对电子行为的测量已相当精确，以至必须考虑我们的计算中还须计及其他可能性——电子从一处到另一处的所有那些共涉及四个额外耦合（见图75）的可能性。电子发射和吸收两个光子的方式有三个。此外，还有一个新的、有趣的可能性（见图75右端）：一个光子被发射出来，它造成了一个正电子一电子对，然后——再次，

如果你还抱着你的“道德上的”异义的话——电子和正电子将湮灭，产生一个新光子，它最终被电子所吸收。这种可能性也必须计算在内！

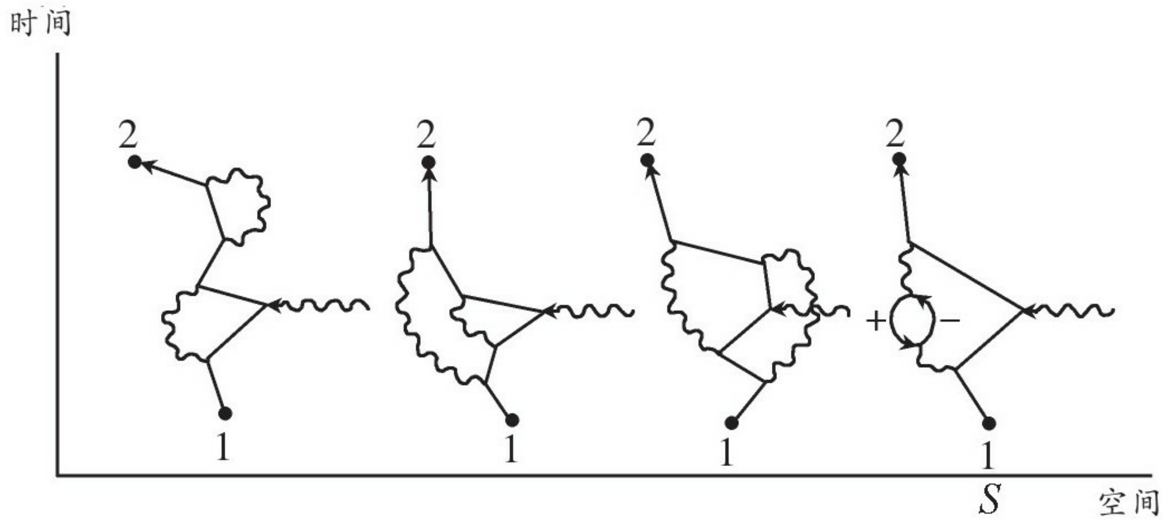


图75　实验室的实验进一步精确，以至我们必须（对时空图上所有可能的中间点）计及含四个额外耦合的那些可能的待选方式。这里示出其中的几个，右端的那个待选的路径包含一个光子分裂为一个正电子-电子对（如图64所示），这个正电子一电子对再湮灭而产生一个新光子，它最终为电子所吸收。

曾有两组相互“独立”的物理学家，花了两年时间计算这后一项，然后他们又花了一年的时间发现一处错误——实验测定的值与计算值稍稍有些不同，而且有一阵子看来似乎是这个理论第一次同实验结果不符。但是，否！这是个计算上的错误。怎么两个小组会犯同样的错误？原来，在计算接近尾声时，两个小组曾交换过意见，并且抹掉了他们计算上的差异。这么一来他们就并不是真正独立的了。

含有六个额外j的项所涉及的事件可能发生的方式甚至更多，现在我回几个给你们看看（见图76）。人们花了二十年的时间才把这个额外的精确值引入电子磁矩的理论值。在这段时间内，实验物理学家又做了更细致的实验，并将实验值的小数点后面又多添了几位——理论仍然同这个值符合得很好。

这样，为了计算，我们做了些图表，写下数学上它们相当于什么，再把这些振幅加起来——这过程简单易行，就像写“食谱”一样。所以，机器就可以做这件事。现在我们有超级电脑，我们已经开始计算有八个额外j的项。目前的理论值为1.00115965246；实验值为1.00115965221，误差是小数点后最后一位数士4。理论值的不定度（小数点后最后一位大约4），一部分是由于电脑的舍入误差，大部分则是由于我们知道的j值还不十分精确（最后两位数大约20）。有八个额外j值的顶涉及900个图，每一个都有10万项——计算量大得不可思议。这个计算现在正在进行。

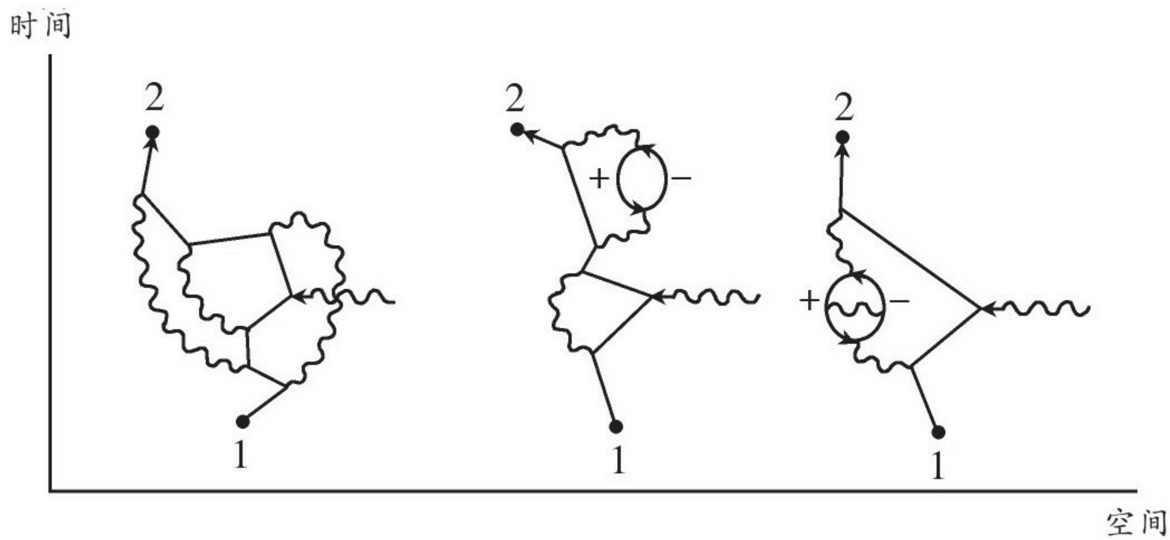


图76　为使理论值更加精确，计算现在还在继续。对振幅做出下一个贡献的是含六个额外耦合的所有可能性，它包括差不多70个图，这里回出其中的三个。到1983年，理论值为1.00115965246，不定度为小数点后最后两位大约20，实验值为1.00115965221，不定度量为小数点后最后一位大约4。这个精确度相当于测量涪杉矶到纽约的距离（超过3000英里）时，误差不超过一根头发的宽度。

我敢肯定，几年之后，关于电子磁矩的理论值和实验值都会在小数点后再多添几位。当然，我不敢说这两个值是否会更加一致。关于这一点，在人们进行计算并做出实验之前，谁也不可能预料。

现在我们把这个数由浅入深地整整讲了一圈，这个数是我故意选来放在这几讲的开始来“吓唬”你们的。我希望你们现在对这个数的意义的理解要好多了：我们一直在检验奇妙的量子电动力学理论到底有多么正确，而这个数说明它的正确性已达到了多么令人吃惊的程度。

在这个讲座里，我从始至终以愉快的心情告诉你们，得到这样一个精确理论是以违背我们的常识为代价的。我们必须接爱一些非常稀奇古怪的行为：概率的增大和减小，光从镜子的所有部分反射，光沿非直线路径前进，光子以快于或慢于寻常的光速运动，电子在时间中倒行，光子突然分裂为一个正电子-电子对，等等。但是，要真正懂得我们在这个世界所看到的几乎所有的现象背后大自然到底在干什么，我们非违背常识不可。

除了极化或偏振的专业细节没讲以外，我已经给你们描述了可以用来理解所有这些现象的框架。我们回出一个事件可能发生的所有路径的振幅，在一般情况下需将概率加起来的地方，我们就将这些振幅相加；在需将概率相乘的地方，我们就将这些振幅相乘。考虑什么问题都借助于振幅，在开始时可能会有点困难，因为它们太抽象了。但是要不了多久，大家就会熟悉这种奇怪的语言。在我们每日看到的大量现象的背后，只有三种基本作用：其中一种用简单的耦合数j来描述；另外两个则用函数P（A至B）和E（A至B）描述，这两者密切相关，这就是它的全部内容。从这里出发，所有其余的物理定律都可以推导出来。

但是，在结束这一讲前，我想再补充讲一点。人们即使不知道有关极化的技术细节，也照样可以理解量子电动力学的精神和特点。但是我敢肯定，如果我不把我省略掉的内容谈上几句，你们大家都会感到不舒服。光子原来有四种不同的形态，叫作四种偏振态，它们在几何上与时空图的四个方向相关。就是说，光子在X、Y、Z和T四个方向上偏振。（恐伯你在什么地方会听说过，光只有两个偏振态，例如一个沿Z方向

前进的光子可能在两个同Z成直角的方向上（即X或Y方向）偏振。好，你会猜得出来：在光子以光速前进相当长距离的情况下，Z和T两项的振幅会完完全全给抵销掉。但是，对于往来于在原子内的质子和电子之间的虚光子来说，T方向恰恰是最重要的。）

同样，一个电子也可处于同这四个方向相应的四种状态之一，不过方式更微妙一点。我们可以把它们称作状态1、2、3、4。计算一个电子从时空图中的点A至点B的振幅也变得多少复杂一点，因为我们现在问的是这样的问题："一个在点A释放出来的处于状态2的电子到达点B并处于状态3的振幅是多大？"从起始于A处的四种不同状态到终止于B处的四种不同的状态，共有16种可能的组合。这16种状态以简单的数学方式同我曾讲过的公式E（A至B）相对应。

而对于光子，无须进行这类修正。就是说，在A处沿X方向偏振的光子，在B处也沿X方向偏振，从A至B的振幅为P（A至B）。

极化引起了可能发生的大量不同耦合。比如说，我们可以问："一个处于状态2的电子吸收一个在X方向偏振的光子，然后变成处于状态3的电子，这个事件的振幅是多大？"并不是极化电子所有可能的组合都伴有与光子的耦合，但那些进行耦合的，就都以相同的振幅j耦合，只是有的时候箭头要再多转几个90°。

各种不同类型的极化的可能性以及耦合的性质，全都可以从量子电动力学和两个进一步的假设以非常优美的形式推导出来。这两个假设是：1.我们实验室中所用的仪器转到任何方向都不影响实验结果；2.实验仪器所在的飞船以任意某个速度运动也都不影响实验结果。（这就是相对性原理。）

这个优美而普遍的分析表明：每个粒子都必须属于这一类或那一类可能的极化或偏振，我们把这不同的类别称为自旋0，自旋1/2，自旋

1，自旋3/2，自旋2，等等。这些不同的类别行为方式不同。自旋0的粒子是最简单的——它只有一个分量，实际上完全不极化。（我们在这讲中所考虑的虚电子和虚光子就是自旋0的粒子。到目前，自旋0的基本粒子我们还没有发现。）自旋1/2的粒子可以真实电子为例。自旋1的粒子可以真实光子为例。自旋为1/2和1的粒子两者都有四个分量，其他类型的粒子分量更多，例如自旋2的粒子，就有十个分量。

我曾说过，相对性和极化（或偏振）之间的关系是简单优美的，但我不敢说，我能简单而优美地把它们解释清楚！（想解释清楚，我至少要增加一讲。）有关极化（或偏振）的详细内容对于理解量子电动力学的精神和特性虽说不是必不可少的，但是，当然要想对任何实际过程做正确的计算，它们是必不可少的，而且，往往具有深刻的影响。

在这几讲中，我们主要讲解了电子和光子间在很小距离上的相当简单的相互作用，而且只涉及很少几个粒子。但现在我想就这种相互作用在较大空间里如何进行谈几句。在这里，相互间交换光子的数量非常大，在这样的大尺度上，箭头的计算就很复杂了。

但是，有些情况并不太难进行分析。例如，在有些场合，光源发射一个光子的振幅同其他光子是否被发射无关。这可能发生在光源（即光源原子的核）很重，或者极大量的电子全都以相同方式运动（如广播电台天线内的电子的上下运动，电磁线圈内的电子的绕线圈旋转）的情况下。这时会有大量的光子被发射出来，而所有光子全都属于同一类型。电子在这种环境下吸收一个光子的振幅与这个电子或其他电子此前是否吸收过其他光子无关。这样，这个电子的全部行为仅用它吸收一个光子的振幅即可描写清楚，这个振幅仅取决于电子在空间和时间中的位置。物理学家用普通的话语来描述这种情况。他们说这个电子在外场中运动。

物理学家用“场”这个词描述一个其大小取决于它在空间中所处位置

的量。空气的温度是个很好的例子：温度随你在何时何处进行测量而改变。当把极化或偏振考虑在内时，这个场就有了较多的分量。[共有四个分量——分别对应于吸收处于四类不同偏振态（X、Y、Z、T）之一的光子的振幅——专业上我们把它称为矢量和标量电磁势。将这些综合起来，经典物理推导出更方便的分量——称为电场和磁场。]

在电场和磁场变化足够慢的情况下，电子长距离移动的振幅取决于它的路径。同我们早些时候看到的光的情况一样，相邻路径的振幅的角度几乎相同的那些路径是最重要的路径。结论就是：粒子并不是必走直线。

这就把我们大家带回到经典物理。经典物理假设存在着场，电子在场中移动的方式是使某个量取最小值。这是量子电动力学规则如何导出大尺度现象的一个例子。从这里我们可以向四面八方扩展，不过我们还得眉限在这个讲座圈定的范围之内。我只想提醒你们记住一点：我们在大尺度上看到的效应和在小尺度上看到的奇异现象，两者都是电子同光子相互作用的效果，而且两者最终都可以由量子电动力学的理论加以描述。

注释

1. 把这个情况完整地讲出来是很有意思的：如果A、B两处的探测器有毛病，它们只在某些时间里探测光子，那么就有三种可以区分开来的最终状态：1）A与D处的探测器作响；2）B与D处的探测器作响；3）只有D处的探测器作响，而A、B两处却无动静（它们停在初始状态）。前两个事件概率的计算方法在上面已经讲了。[只是还有额外的一种情况没有讲，即由于A（或B）处探测器有毛病，它们作响的概率减小了。]在只有D处探测器作响的情况下，我们不能把两种情况区分开——大自然引入干涉来和我们开玩笑——答案同没有探测器的时候一样（只是最终箭头需缩短为那两个探测器未作响的情况），最终的结果是个混合，

是所有这三种情况的简单相加之和（见图51）。当探测器的可靠性提高时，我们得到的干涉就少一些。

2. 在这几讲里，我都将把点的空间位置标在沿X轴的一维直线上。要将点标在三维空间里，需建一个“房子”，还需量出这个点到屋顶，以及相邻两堵墙的距离（它们之间均是直角）。这三个测量值可标为X_1、Y_1和Z_1，这个点与测量值为X_2、Y_2和Z_2的第二个点之间的距离可用“三维毕达哥拉斯定理”来计算：实际距离的平方是

$$(X_2-X_1)^2+(Y_2-Y_1)^2+(Z_2-Z_1)^2$$

它与时间差的平方之差

$$(X_2-X_1)^2+(Y_2-Y_1)^2+(Z_2-Z_1)^2-(T_2-T_1)^2$$

——有时称为“间隔”或I，爱因斯坦相对论说P（A至B）必须取决于这个综合值。对P（A至B）最终箭头做出主要贡献的地方正是你所期待的，即距离之差与时间之差相等的地方（就是说I是零）。但I不为零的情况对P（A至B）也是有贡献的，贡献的大小与I值成反比：当I大于零（即光走得比c快）时，它指向3点钟的方向；当I小于零时，它指向9点钟。后面这两项贡献在许多场合下都被抵销掉了（见图56）。

3. E（A至B）的公式是复杂的，但有个很有趣的方式可以解释它到底是什么。E（A至B）可以表示为一个电子从时空图中的点A到点B的许多不同方式的和，这个和非常大（见图5）：电子能够来个“一步飞”，从A直达B；能来个“两步飞”，在中间某点C停一下；也能“三步飞”，在D、E两点稍事停留，等等。根据这个分析，每一步（从一点F到另一点G）的振幅是P（F至G），这和光子从点F至点G的振幅是相同的。每一“停”的振幅可由n^2描述，n和我曾提到过可用来使计算得出正确结果的那个n是同一个数。

所以，E（A至B）的公式是一系列的项：P（A至B）【“一步飞”】+P（A至C）×n^2×P（C至B）【“二步飞”，在C处停一下】+P（A至D）×n^2×P（D至E）×n^2×P（E至B）【“三步飞”，在D和E处停一下】+……对所有可能的中间点C、D、E，等等。

注意当n变大时，那些非直接路径可以对最终箭头做较大贡献，当n为零（如光子）时，所有带n的项都销掉了（因为它们也都等于零），只剩下第一项P（A至B），这样，E（A至B）同P（A至B）就密切相关了。

4. 这个数，即发射或吸收一个光子的振幅，有时就叫作一个粒子的“电荷”。

5. 如果把电子的极化效应考虑在内，这“第二方式箭头”就应该被减去——即转180°再相加。（这一讲后面还要再详细讲讲这个问题。）

6. 这两个作用方式较复杂的实验的最终状态与最初讲的那两种作用方式较简单的状态（电子始于点1和2，终止于点3和4）相同，这样，这复杂些的状态同当初那两个就区分不开了。所以，我们必须把这两种方式的箭头与前面那两种方式的箭头加起来。

7. 这类在实验的最初或最后状态决不真正出现的被交换的光子，有时叫作“虚光子”（virtual photon）。

8. 1931　年狄拉克提出存在着“反电子”，第二年C.安德逊（Carl Anderson）在实验中发现了这种粒子并称之为“正电子”。今天已经很容易造出“正电子”（例如，让两个光子对撞），并用磁场将其保持数周之久。

9. 光子交换的振幅是（-j）×P（A至B）×j——两个耦合及光子从

一处运动到另一处的振幅。质子与光子有一个耦合的振幅是（-j）。

10.弧的半径显然取决于每一薄层箭头的长度，这个长度最终由玻璃原子中的电子散射光子的振幅S来决定。计算这个半径时，可将三个基本作用的公式用于大量有关的光子交换，然后将振幅加起来。这是个相当困难的问题，但是对于相对简单的物质，半径计算是很成功的。运用量子电动力学的观点，半径随物质不同而不同是很好理解的。但是必须说明，还从来没有对于像玻璃这样复杂的物质从最基本的原理出发作过直接的计算。在这类情况下，半径是由实验决定的。对于玻璃，实验确定的半径是大约0.2（当光以直角直接照射玻璃时）。

11.各层反射箭头（它们组成一个“圆”）的长度和使得透射的最终箭头多旋转一些的那些箭头长度相同。所以，在物质的部分反射和它的折射率之间是有联系的。

看起来最终箭头的长度变得大于1了，这意味着从玻璃出来的光要比进去的光还多！之所以看来如此，是因为我忽略了一些振幅——如一个光子下到一层，一个新光子散射上来到另一层，然后第三个光子散射返下来通过玻璃，还有一些产生更复杂情况的可能性——结果有一些小箭头弯转回来，使得最终箭头保持在0.92和1之间（所以光被这层玻璃反射和透射的可能性的总和永远是100%）。

第4章　松散的结尾

我打算把这一讲分为两部分。第一部分，我准备讲讲同量子电动力学理论本身有关的问题，这里假定这个世界上存在的全部东西就是电子和光子。然后我将谈谈量子电动力学同物理学其他部分的关系。

量子电动力学最令人惊骇的特点是它那古怪得要命的振幅结构。你也许会以为这里隐含着什么问题！但是物理学家摆弄振幅已经有五十多年，对它已经很习惯了。而且，我们所能观察到的全部新粒子和新现象，都与振幅结构所能推导出来的每个结果（如干涉等等）符合得极好。根据振幅结构，一个事件的概率是代表该事件的最终箭头平方，而最终箭头的长度取决于诸箭头以有趣的方式的合成。这样看来，振幅结构在实验上是毫无问题的：你尽可以从哲学上为振幅到底意味着什么（如果，它们的确意味着什么的话）而伤脑筋，但是由于物理学是一门实验科学，只要这个结构同实验相符合，对我们来说，它就足够好了。

有大量问题同量子电动力学理论有关，所以需要提高计算所有小箭头之和的本领——对不同情况下处理问题的行之有效的不同技巧——这使研究生需要花费三四年的时间才能掌握它们。这些只是技术上的问题，所以我不打算在这里讨论。只要不断改进分析这个理论在各种不同的情况下须具体讲些什么的技术就行了。

但是，另外有一个表征量子电动力学本身特点的问题，人们花了二十年的时间才将它解决。它同理想电子和光子以及数n与j有关。

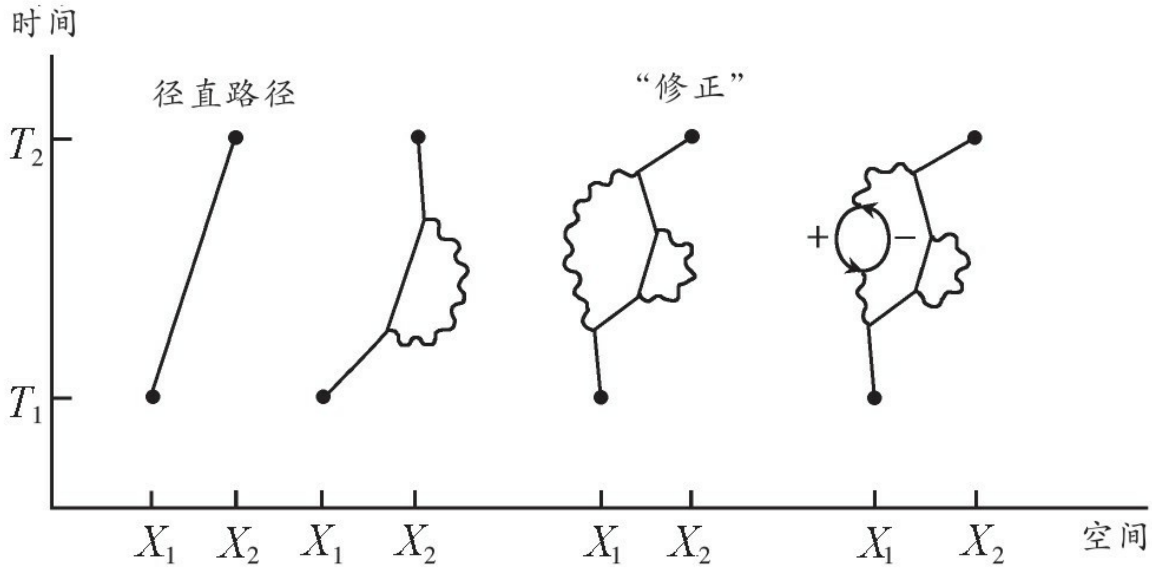


图77　在计算电子在时空图上从一点到另一点的振幅时，对于径直到达的情况我们用公式E（A至B）。（然后我们再作“修正”，把一个或多个光子被发射和吸收的情况包括进来。）E（A至B）取决于（X_2-X_1）、（T_2-T_1）和n, n是我们为使答案正确而塞到公式里面的一个数。数n被称为“理想”电子的“静止质量”，它不可能由实验测定，因为真实电子的静止质量m包含了所有的“修正”。计算用于公式E（A至B）的这个数n相当困难，用了二十年才解决。

如果电子是理想电子，而且在时空图中从一点至另一点只走直线（见图77左），那就什么问题都没有了：n就是电子的质量（我们可通过观测确定这个量），j就是它的“电荷”（电子同一个光子耦合的振幅），也可由实验来确定。

但是，这样的理想电子并不存在。我们在实验室观测到的质量是真实电子的质量，这些电子不时发射和吸收它自己的光子，因而质量取决于耦合振幅j。我们观测到的电荷则介于真实电子和真实光子（它随时有可能形成电子-正电子对）之间，因而它取决于E（A至B）。这个E（A至B）包含数n（见图78）。由于电子的质量和电荷爱这些以及所有其他可选路径的影响，实验上测定的电子质量m和电子电荷e均不同于我们计算中用的数n和j。

如果在n和j与m和e之间存在着确定的数学关系，那还是没有问题的：我们可以从简单的计算我们所需要的n和j值开始，然后得到观测值m和e。（如果计算值同m和e不符，我们会把最初的n和j稍稍动一动，直到同实验值吻合为止。）

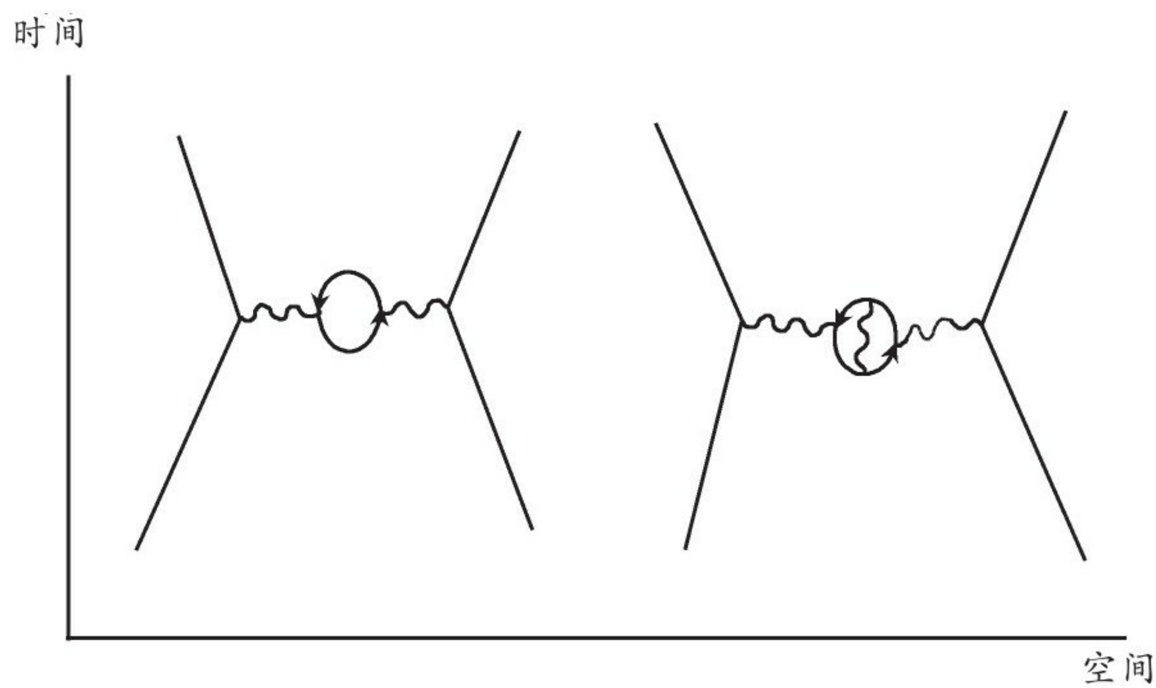


图78　实验上测定的一个电子与一个光子耦合的振幅，即那个神秘的数e，是由实验确定的一个数，它包含了一个光子在时空图中从一点至另一点的全部“修正量”，图中示出其中的两个。在计算时，我们需要一个数j，它不含这些“修正量”，而只含光子从一点直接至另一点的振幅。计算这个j值所遇到的困难与计算n值的困难很类似。

现在来看看我们实际上是怎样计算m值的。先写出一系列的项（多少有点类似我们以前看到的一系列关于电子磁距的项）：第一项没有耦合——就只是E（A至B），它代表一个理想电子在时空图中从一点径直到达另一点。第二项有两个耦合，代表有一个光子被发射并吸收。接下去的项则分别是有四、六、八个耦合，等等（一些这类修正示于图77）。

在计算带耦合的顶时，我们必须（一如既往地）把所有可能发生耦合的点都考虑在内，直到耦合的两点重叠在一起——即它们之间距离为零。问题在于，当我们的计算试图把直到距离为零的所有情况都包括在内时，这方程在我们面前爆炸了，它给出毫无意义的结果——类似于无穷大之类的东西。在量子电动力学开始创立时，这个问题使它陷入巨大的困境。人们无论计算什么问题，所得的结果都是无穷大！（为了数学上的一致性，人们在计算时应该能够计及零距离。但是，就是在零距离上不存在有任何意义的n或j。这就是麻烦所在。）

好，这回我们的计算不把直至零距离的所有可能耦合的点全都包括进来，而止于相互间距离相当小的耦合点——例如说10^{-30}厘米，比实验上观测的任何量（目前为10^{-16}厘米）还小万亿倍，这样，我们要用到的n和j都会有确定的值，计算出来的质量可同实验上观测到的m值相比，计算出来的电荷可同实验上观测到的e值相比。不过，还是有问题！如果另外有人一道工作，他们把计算止于一个不同的距离——比如说10^{-40}厘米，结果他们所得到的n和j（为算出同样的m和e而需要的）是不同的。

二十年以后，1949年，H.贝特（Hans Bethe）和V.韦斯科夫（Victor Weisskof）注意到这样一件事：如果有两个人，取不同的终止距离，由同一m和e去确定n和j，然后用所得的n和j去解决另外某个问题——他们各自采用适合于自己然而彼此不同的n和j值，在将所有顶的所有箭头都包括在内之后，他们对这“另外某个问题”的答案竟几乎是相同的！事实上，在计算n和j值时所取终止距离同零距离越接近，对这个问题的最终答案就会同实验符合得越好。为了进一步证实这点，施温格、朝永振一郎和我三个人分别独立地发现了进行有限计算的方法（我们为此而获奖）。人们终于能够用量子电动力学理论进行计算了。

所以，看来取决于耦合点之间小距离的只是n和j的值——这是两个

无论如何不能直接观测的理论值，而所有其他的可观测量，看来都不爱影响。

我们为求出n和j所玩的壳层游戏，在专业上叫作“重正化”。但是，不管这个词听来多聪明，我却说这个过程是蠢笨的！求助于这类戏法妨碍了我们去证明量子电动力学在数学上的自洽性。令人不解的是，尽管人们用了各种办法，这个理论至今仍未被证实是自洽的；我猜想，重正化在数学上是不合法的。我们还没有一种好的数学方法描述量子电动力学，这是肯定的——像这样描述n、j同m、e之间关系的语言不是好的数学。[1]

有一个很深刻、很漂亮的问题，它同可观察的耦合常数e（真实电子发射或吸收一个真实光子的振幅）有关。e是个很简单的数，实验上确定它接近于-0.08542455。（我的物理学朋友们不承认这个数，因为他们喜欢把e记成这个数的平方的倒数：约137.03597，不定度是小数点后最后一位大约2。这个数字自五十多年前发现以来一直是个谜，所有优秀的理论物理学家都将这个数贴在墙上，为它大伤脑筋。）

你们立刻就想知道这个用于耦合的数到底从什么地方来的，它是与圆周率π有关呢，还是同自然对数的基e有关呢？没人知道！它是物理学中最大的谜之一，一个该死的谜：一个魔数来到我们身边，可是没人能理解它。你也许会说“上帝之手”写下了这个数字，而“我们不知道他是怎样下的笔”。我们知道实验上怎样摆弄就能把这个值测定得很精确，但我们不知道在电脑上怎样摆弄才能把这个数堂堂正正地算出来！

一个好的理论也许会说e是2π与3的平方根之积再除1，等等诸如此类的东西。经常不断就有建议提出来，说e应该是什么什么，但没有一个是有用的。A.爱丁顿（Arthur Eddington）第一个用纯逻辑证明物理学家所喜欢的这个数肯定精确地为136，这是那时的实验值。后来当更精确的实验表明这个值接近于137时，爱丁顿于是发现他早期的讨论中有

个小错误，并再一次用纯逻辑推出，这个值肯定是整数137！每一次，总有什么人注意到π值同e（自然对数之基）值的某种组合，或2和5的某种组合能给出这个神秘的耦合常数。有一个事实为那些摆弄代数的人所不喜欢，那就是用π值和e值等数值所能造出来的数之多，简直会让你吃惊。这样，在整个现代物理学史上，关于制造一个精确到小数点后面几位的e的论文可说是连篇累牍，只是它们一次又一次被下一轮改进了的实验证明它们同实验值不符。

尽管我们今天不得不借助于蠢笨的程序来计算j值，但是有可能在将来的某一天，人们发现了j和e之间合理的数学联系。那就意味着j是那个神秘的数，从j再求出e，到那时，毫无疑问，又会有另一批论文出来告诉我们如何“赤手空拳”凭空计算出j，例如说，提出j是4π分之一，等等。

与量子电动力学有关的问题到这里就全部讲完了。

在准备这个讲座时，我原想只讲讲物理学中我理解得最好的这部分，把它讲透彻了，不讲其他。现在我们已经把这部分全讲完了，但是作为一个教授（这就意味着总习惯于讲呀讲，不会适可而止），我还是禁不住要给你们讲讲物理学的其余部分。

首先，我必须立即声明，物理学的其他部分可远不像量子电动力学这样得到那么好的验证：我准备给你们讲的内容里，有的是些好的猜测，有的是半截子理论，另一些则是纯思辨。所以这一讲和其他几讲比起来会显得有点乱，也不完善，很多细节都省略了。但是，说到头来正是量子电动力学的理论结构为描述物理学其余部分的其他现象提供了极好的基础。

我先讲讲构成原子核的质子和中子。在质子和中子被发现之初，人们都认为它们是简单粒子，但很快发现它们并不简单——这里说的“简

单”，意思是它们从一点至另一点的振幅都可以用公式E（A至B）来解释说明，只是二者各用不同的n。例如，质子的磁矩，如果用和电子同样的方法来计算，应当是接近1，但事实上，实验的结果却非常奇怪，竟是2.79！这样，人们很快就认识到，质子内部有什么过程在进行，还没有被量子电动力学的方程计算在内。还有中子，如果确实是中性的话，应该完全没有磁相互作用，可它的磁矩大约为-1.93！这样，大家都早已知道中子内部也有什么可疑的活动。

还有一个问题就是，在核内到底是什么东西把中子和质子束博在一起。人们当时就认识到这不可能是光子的交换，因为把核子束博在一起的力要强得多——打碎一个核所需的能量要比把一个电子从原子里敲出去所需的能量多得多，这两个能量之比同原子弹的破坏力与炸药的破坏力之比是一样的：炸药的爆炸是电子图形的重新安排，而原子弹的爆炸则是质子-中子图形的重新安排。

为了了解到底是什么把核子束博在一起，人们做了很多实验，将能量越来越高的质子射向原子核。人们预期的是只有质子和中子被打出来。但是，当能量足够大时，新粒子出来了。首先是π介子，然后是λ超子，∑超子，ρ介子，它们把字母表都占用完了。接着出来的粒子带上了数目字（它们的质量数），例如∑1190和∑1386。很快，事情清楚了：世界上的粒子的种数尚无尽头，它取决于打碎原子核所用能量的大小。目前已有400种以上这类粒子。我们不可能接爱400种粒子；那也太复杂了！[2]

像M.盖尔曼（Murray Gell-Mann）这样伟大的创造者都像是发了疯一样极力试图找出所有这些粒子的行为规则。20世纪70年代初，他们提出了强相互作用的量子理论（或叫作“量子色动力学”）。它的主要角色是叫作“夸克”的粒子。所有那些由“夸克”组成的粒子可分成两类：有些粒子，如质子和中子，是由三个夸克组成的，而且有个可伯的名字，

叫“重子”；另外一些粒子，如π介子，则是由一个夸克和一个反夸克组成的（名为“介子”）。

现在我来按今天我们所了解的基本粒子的情况做个基本粒子表（见图79）。我将从在时空图中两点间按公式E（A至B）——用与电子同样的极化规则加以修正——运动的粒子开始，它们叫“自旋1/2”的粒子。这类粒子中的第一名是电子，它的质量数是0.511，单位是我们一直沿用的，叫作百万电子伏（MeV）。[3]

在电子下面，我要留一个空位（以后填上），这个空位的下面我列上两类夸克——d夸克和u夸克，这两种夸克的质量还知道得不确切：一个较好的估计是，每一种都大约是10MeV。（中子比质子稍重一些，看来这暗示——等一下你将会看到——d夸克比u夸克要稍重一点。）

在每个粒子的旁边，我都以-j（它跟电子与光子的耦合数相同，但符号相反）为单位列出它的电荷或耦合常数。这样，电子的电荷将为-1，这与从B.富兰克林（Benjamin Franklin）开始一直延续下来的习惯用法是一致的。对d夸克来说，同一个光子耦合的振幅是-1/3，对u夸克，它是+2/3。（如果B.富兰克林早知道有夸克这回事，他可能会把一个电子的电荷定为至少是-3！）

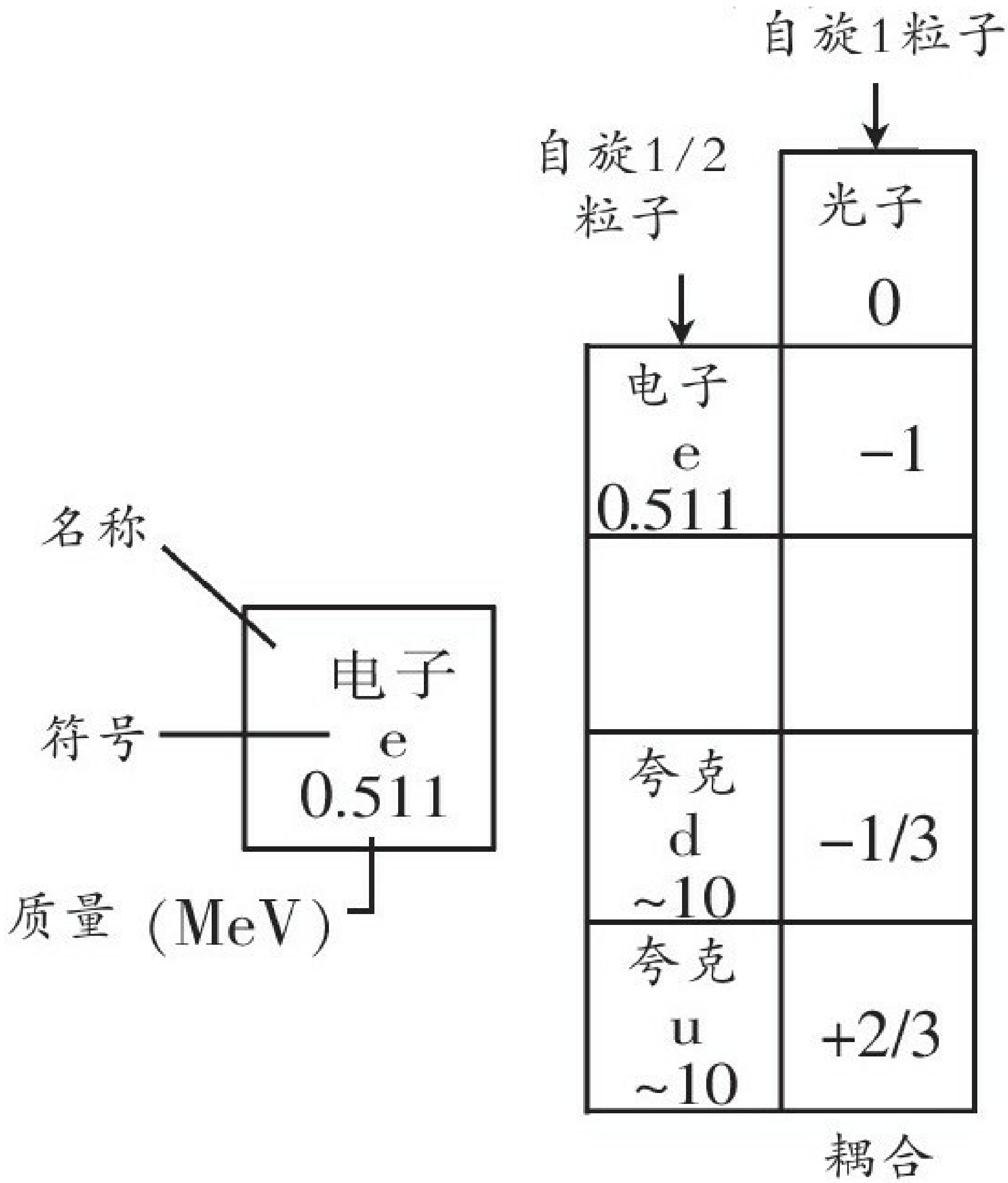


图7　9　我们这个世界粒子总表从自旋1/2粒子开始：电子（质量为0.511MeV），以及两种“味”的夸克d和u（二者质量均为10MeV）。电子和夸克都有“电荷”，那就是说它们都同光子耦合，耦合量分别为（以耦合常数-j为单位）：-1，-1/3，+2/3。

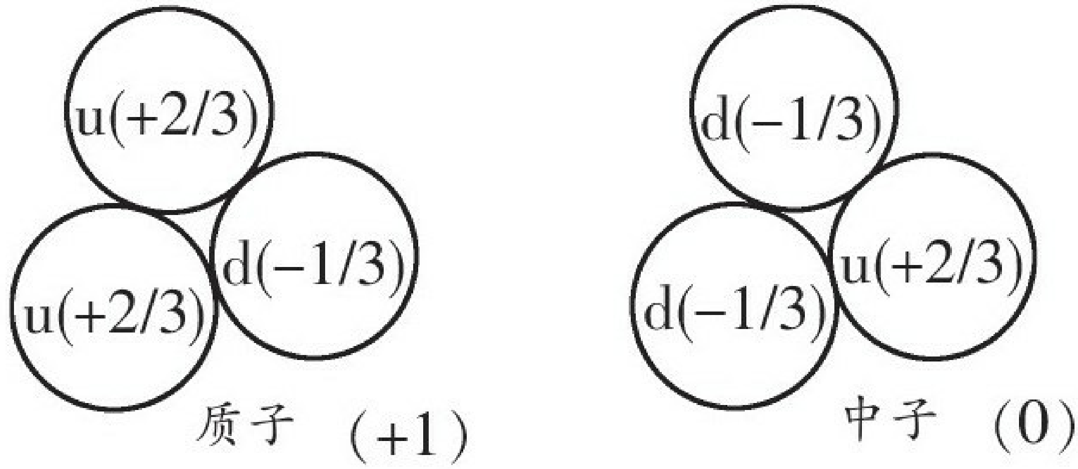


图80　所有由夸克组成的粒子可分为两大类：一类由一个夸克和一个反夸克组成，一类由三个夸克组成，质子和中子就是由三夸克组成的最普通的例子。d、u夸克电荷的搭配，使质子电荷为1，中子电荷为零。质子和中子由（在它们里面到处运动的）带电粒子组成这个事实给我们一个线索去解释：为什么质子的磁矩大于1，而设想是中性的中子有磁矩。

现在，质子的电荷为+1，中子的电荷为0。摆弄摆弄数字，你就可以看出，一个由三个夸克构成的质子肯定是两个u和一个d，而也由三个夸克构成的中子则肯定是两个d和一个u（见图80）。

是什么把夸克维系在一起呢？是光子的来回穿梭吗？（因为一个d夸克的电荷为-1/3，一个u夸克为+2/3，夸克像电子一样，发射和吸收光子。）不，这种电力太微弱了，根本不能把夸克束博住。人们想象出另一种东西往复穿梭把夸克维系在一起，它叫作“胶子”。[4]“胶子”是另一类所谓“自旋1”的粒子（像光子一样）。它们在时空图上从一点运动到另一点的振幅由同光子完全一样的公式P（A至B）精确地确定。胶子为夸克所发射和吸收的振幅是一个神秘的数g，它比j要大得多（见图81）。

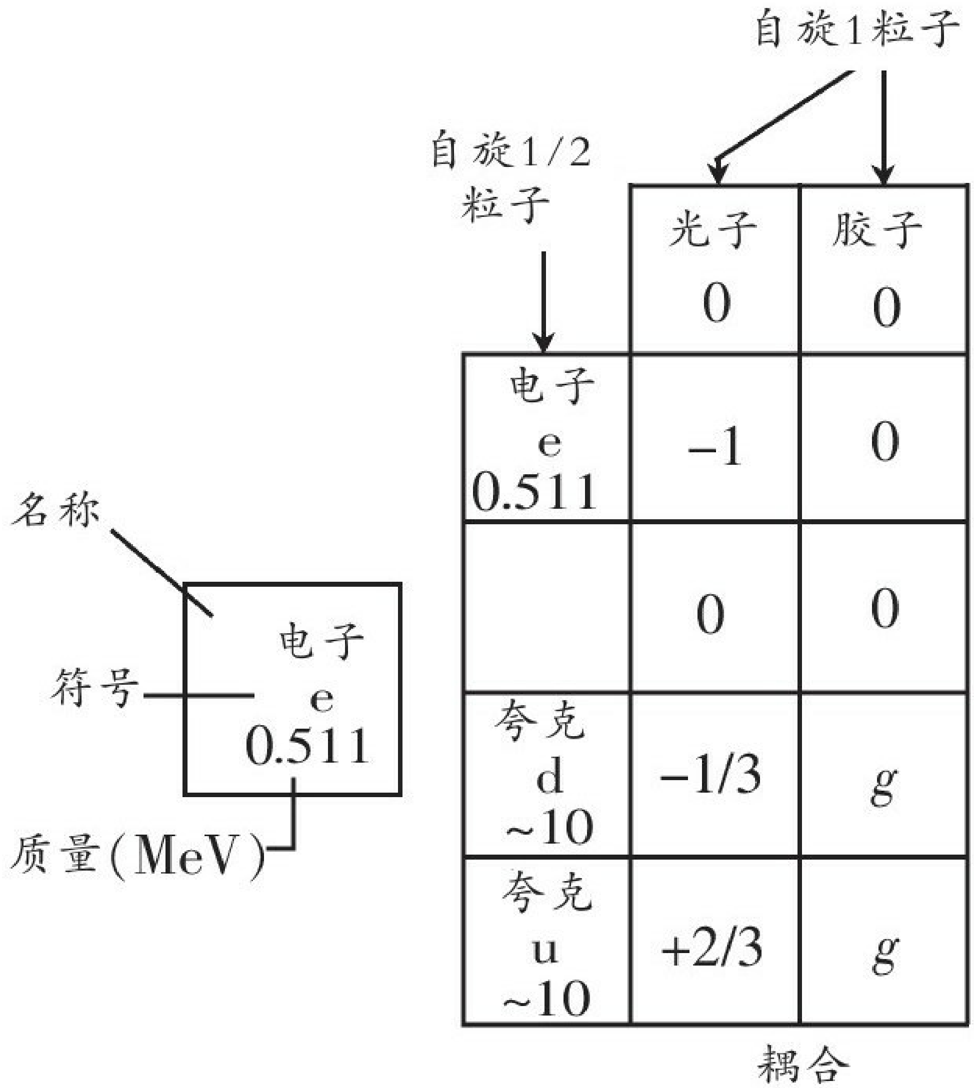


图81“胶子”把夸克维系在一起组成质子和中子，它是质子和中子能把它们自己束博在原子核内这个事实的间接原因。胶子维系夸克的力比电力强得多。胶子的耦合常数g远大于j，这使得对它们耦合项的计算要困难得多：到目前，我们所期望的最好的精确度也只达10%。

我们回的夸克之间交换胶子的图同我们以前为电子之间交换光子所回的图很相像（见图82）。事实上，这两个图太相像了，以至你们可能认为物理学家实在缺乏想象力，对于强相互作用，他们也只能照搬量子电动力学的理论！不错，你们说对了，我们正是这样做的，不过新花样还是稍微有一点！

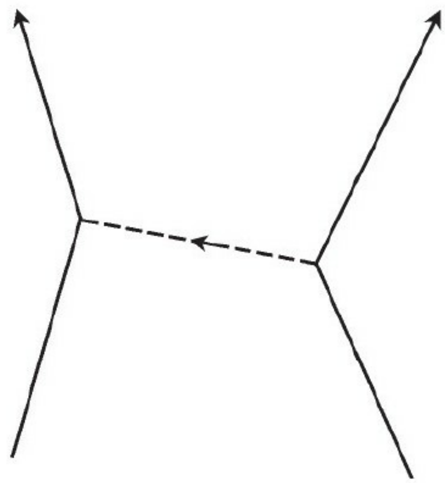


图82　这是两个夸克能交换一个胶子的一种方式，此图看来同两个电子交换一个光子的图太相似了，你也许认为物理学家照搬量子电动力学的理论来处理把质子和中子内的夸克维系在一起的“强相互作用”。不错，他们——几乎——就是这么干的。

夸克还有另一类极化，它同几何学无关。这些白痴物理学家（他们再也创造不出古希腊那样优美的词汇）给这类极化起了个不幸的名子，叫“色”，实际上它与通常意义上的颜色毫无关系。在一个特定的时刻，一个夸克可以处于三种状态——或者说三种“色”——R、G或B（你能猜出它们是指什么吗）中的任何一种[4]。夸克在发射或吸收一个胶子时，它的“颜色”会改变。根据不同色的夸克之间的耦合，胶子可分为八类。例如，一个红夸克如果变为绿的，它会发出一个红-反绿胶子——这是一种从红夸克中取出红并赋之以绿的胶子（“反绿”的意思是在反方向带绿的胶子）。这种胶子被绿夸克吸收，于是这绿夸克变为红的（见图83）。有8种不同的可能的胶子，如红-反红，红-反蓝，红-反绿，等等（你恐怕想到应该共有9种，由于专业上的原因，有一种给略掉了）。这个理论不很复杂。胶子的全部规则是：胶子同有“色”的东西耦合，它唯一需要的就是做点儿簿记工作，记下这些“色”运动的踪迹。

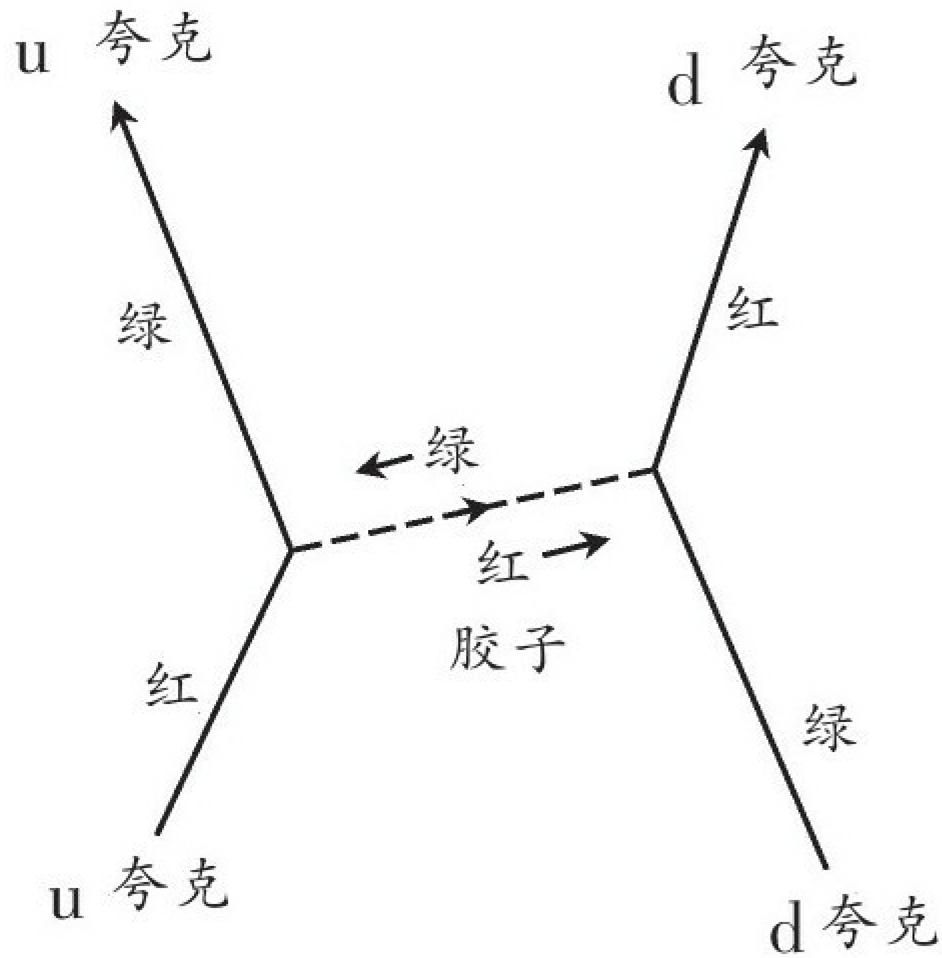


图83　胶子理论与量子电动力学不同之处在于胶子是同所谓“带色”的东西（处于“红”“绿”“蓝”这三种可能的状态之一）耦合。这里是一个红u夸克发射出一个红-反绿胶子变为绿u夸克，而一个绿d夸克吸收了这个红-反绿胶子变为红d夸克。（如果“色”在时间上反向倒行，这个“色”的前面就加“反”字。）

但是，这个规则会带来一个很有意思的可能性：即胶子能够同其他胶子耦合（见图84）。例如，一个绿-反蓝胶子碰上一个红-反绿胶子，结果是一个红-反蓝胶子。胶子理论很简单——你就回个图，跟着“色”走就行了。在所有的图中，耦合强度都由胶子的耦合常数g来确定。

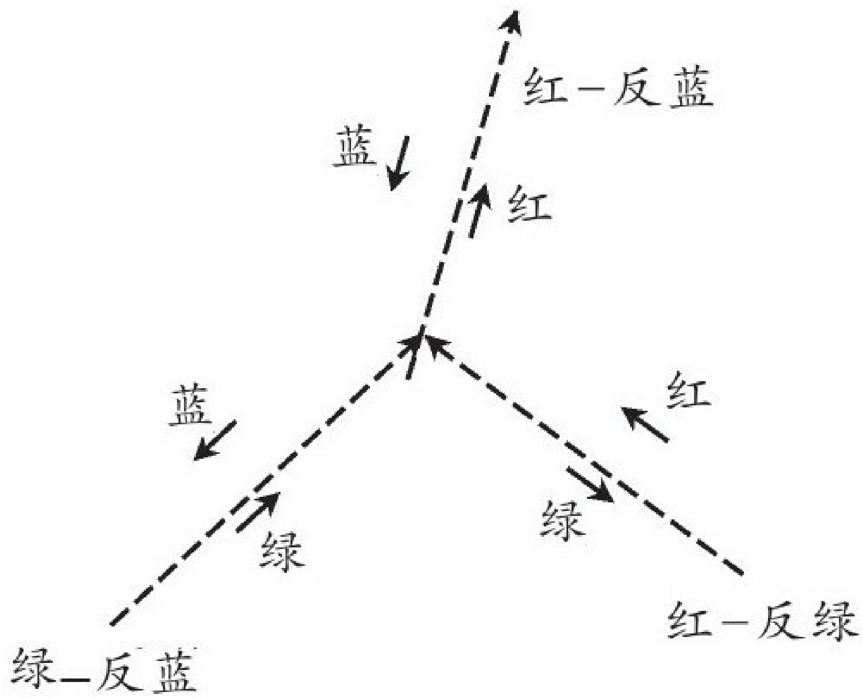


图84　由于胶子本身是带“色”的，它们彼此间能够耦合。这里是一个绿-反蓝胶子同一个红-反绿胶子组成一个红-反蓝胶子。胶子理论很容易理解，你只要跟着“色”走就行了。

胶子理论在形式上确实同量子电动力学没有什么大不同。那么，它同实验比较怎么样呢？例如，质子磁矩的观测值同它的理论计算比较，怎么样呢？

实验是很精确的——它们表明质子磁矩是2.79275。在最佳情况下，理论只能给出2.7加减0.3，——如果你对你的分析结果非常乐观的话，那么我告诉你，10%这个误差比实验的精确度差了一万倍！我们有一个简单明确的理论，设想用它可以解释质子和中子的所有性质，但我们这个理论不能用来做任何计算，因为它需要的数学对我们来说太难了。（你们大概能猜得出，我现在正在做什么工作，以及我的工作毫无进展。）我们的计算之所以精确度不够高，是因为胶子的耦合常数g比电子的耦合常数大得多。带两个、四个，甚至六个耦合的顶并不是对主振幅的小小修正；它们对结果有不可忽视的重要贡献。这样，就有代表

许多不同可能性的许多箭头，而我们还不能用一种合理的方法把最终箭头找出来。

书上通常说，科学是简单的：你造个理论，拿它和实验比较；如果理论不灵，你就抛弃它再造个新的。这里我们有明确的理论，也有数以百计的实验，但我们没法进行比较！这种情况在物理学史上还从来没有过。我们暂时陷入困境，提不出什么计算方法。我们是叫这些小箭头给镇住了。

尽管理论的计算上有困难，但我们在定性上对量子色动力学（夸克与胶子的强相互作用）确实还是有些理解。我们见到的由夸克构成的物体都是“色”中性的：三个夸克一组的都包含三色夸克各一个；而夸克-反夸克对为红-反红，绿-反绿，蓝-反蓝的振幅则是相同的。我们也理解为什么夸克永远不可能作为单个粒子给产生出来——为什么无论以多大能量的核去轰击质子，出来的也不是单个的夸克，我们所见到的是一股介子和重子（夸克-反夸克对及三夸克组）喷出来。

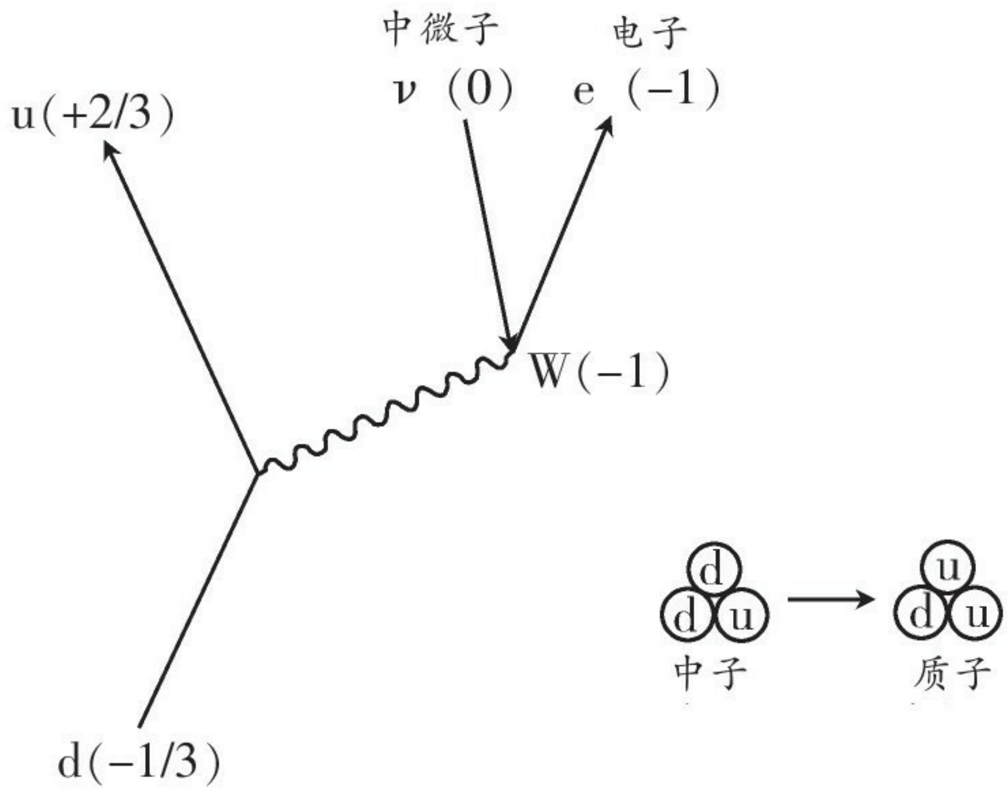


图85　当一个中子衰变为一个质子（所谓的“β衰变”过程）时，伴随着一个电子和一个反中微子释放出来而发生的唯一变化就是一个夸克变了“味”——从d变到u。这个过程发生得相当慢，所以，假设有一个具有很高的质量（约80000MeV），电荷为-1的中间粒子（称作“W-中间-玻色子”）。

量子色动力学和量子电动力学并没有把物理学囊括无遗，根据这两个理论，一个夸克不能改变它的“味”，就是说，一旦是u夸克，就永远是u夸克；一旦是d夸克，就永远是d夸克。可是，自然界有时并不照此办理，有一种进行得很慢的放射现象，叫作β衰变（就是人们担心从核反应堆里泄漏出来的那种东西），它涉及一个中子转变为质子的过程。由于中子包含两个d类夸克和一个u类夸克，而质子包含两个u类夸克和一个d类夸克，所以实际发生的事情是中子内的一个d类夸克变成了u类夸克（见图85）。发生的过程是这样的：d夸克发射出一种类似光子的新东西叫作W，它可与电子及另一类新粒子（叫作反中微子，即时间上

倒行的中微子）耦合。中微子是另一类自旋1/2的粒子（像电子和夸克一样），但它没有质量，也没有电荷（它不同光子作用）。它也不同胶子作用，而只同W耦合（见图86）。

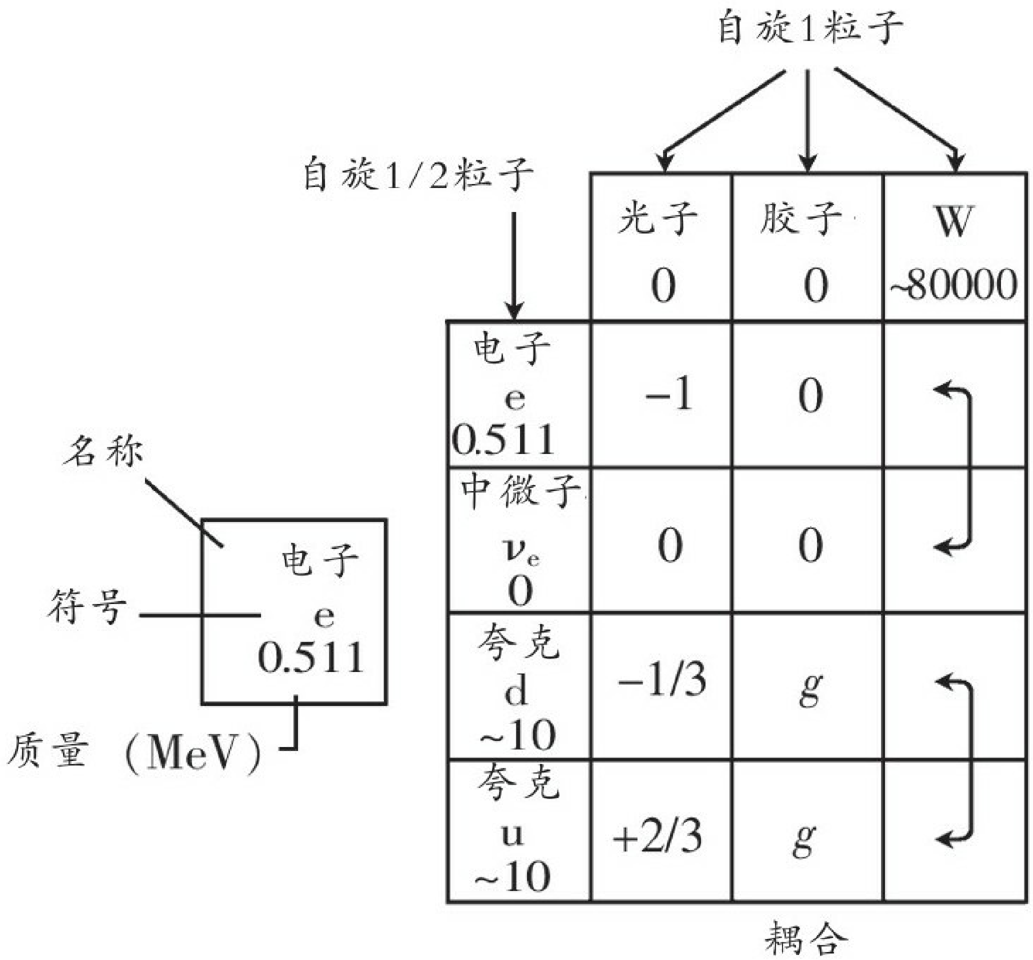


图86　W同电子和（或）中微子耦合，另外也同d和（或）u夸克耦合。

W是自旋1的粒子（和光子及胶子一样）。它改变一个夸克的“味”，并取走它的电荷，如将电荷为-1/3的d夸克变成电荷为2/3的u夸克，电荷改变了-1。（它不改变夸克的“色”。）由于W^-取走-1的电荷（它的反粒子W^+，取走+1的电荷），它也能同光子耦合。β衰变用的时间要比光子和电子相互作用的时间长得多，所以人们自然设想W与光子和胶子不同，它的质量一定非常大（约80000MeV）。[5]我们还不能看见

单独的W，因为把一个质量如此大的粒子敲出来需要非常高的能量。

还有一种粒子，我们可以把它看作是中性W，叫作Z_0。Z_0不会改变夸克的电荷，但它却同d夸克、u夸克、电子及中微子耦合（见图87）。这种相互作用有个让人产生误解的名字“中性流”，几年以前它被发现时，曾激起一大阵的兴奋激动。

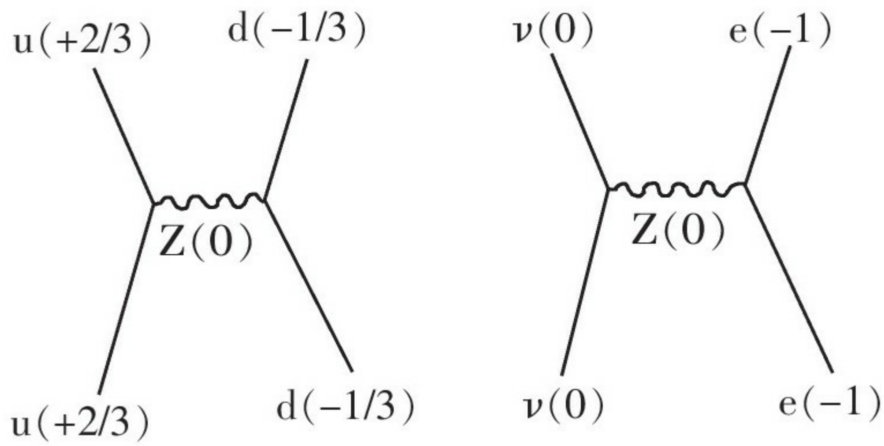


图87　如果任何一个粒子的电荷都不变的话，W也没有电荷（这时的W称为Z）。这种相互作用叫作“中性流”，这里示出两种可能性。

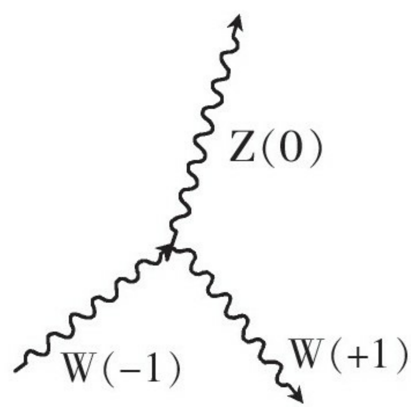


图88　W（-1），它的反粒子W（+1）和中性W（Z_0）之间能够耦合。W的耦合常数与j很接近，这暗示了W和光子可能是同一种东西的不同侧面。

如果你认定三种类型的W之间有三种耦合方式，那么W理论就是一个干净漂亮的理论（见图88）。W的耦合常数的观测值同光子的非常接

近——就在j的附近。所以，很有可能这三种不同的W和光子是同一种东西的不同样子。S.温伯格（Stephen Weinberg）和A.萨拉姆（Abdus Salam）曾努力将量子电动力学同所谓的“弱相互作用”（同W的相互作用）综合为一种量子理论，而且他们成功了。但如果你们看一眼他们得出的结果，就会感觉像是在看（打个比方吧）一团载胶一样，难以理清线索。显然，光子和三种W有着某种内部联系，但是在目前的理解水平下，这种联系还很难看得清楚——在这些理论中，你仍然可以见到“看来似乎是”这类字样；这些理论还没有推敲好，还没有把这些联系润色得更漂亮一些——因而可能更正确一些。

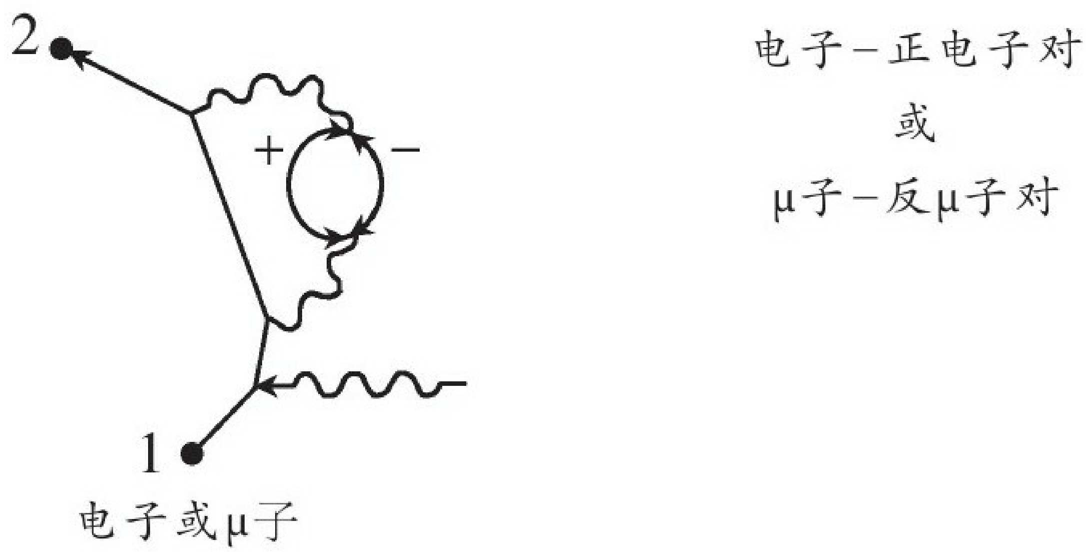


图89　以能量越来越高的质子轰击核子时，新的粒子出现了。其中一种叫μ子，或重电子。描述μ子相互作用的理论同描述电子的完全一样，只是需将一个较大数值的n代入E（A至B）。μ子的磁矩应与电子磁矩稍有不同，这是由于存在着两个特定的选择：当一个电子发射一个光子，这个光子蜕变为一个电子-正电子对，或一个μ子-反μ子对时，它们的质量分别接近于或大大重于那个初始电子的质量；反之，当μ子发射一个光子，而这个光子蜕变为一个正电子-电子对或一个μ子-反μ子对时，它们的质量分别接近于或大大轻于初始μ子的质量。实验证实了这个微小的差别。

总之，你们看，量子理论有三种主要的相互作用——夸克和胶子

的“强相互作用”，W的“弱相互作用”，以及光子的“电相互作用”。根据这个图像，世界上仅有的粒子就是夸克（有u和d两种不同“味”的夸克，每种又分为三种不同的“色”）、胶子（R、G、B的8种组合）、W（带电荷±1和0）、中微子、电子和光子——共6类约20种不同的粒子（再加上它们的反粒子）。情形看来不坏——大约有20种不同的粒子——只是事情还没完。

在用能量越来越高的质子轰击原子核时，新的粒子还是不断出现，其中一种叫作μ子，它在一切方面都像电子，只是质量要大得多——105.8MeV，同电子质量0.511比起来，它要重206倍。情况真好像是上帝就想给质量试验试验不同的数。μ子的所有性质全可以由量子电动力学理论描述出来——耦合常数j同电子是一样的，E（A至B）也是一样的；你唯一要做的是把不同的n值代进去。[6]

由于μ子的质量比电子重约200倍，μ子的秒表指针比电子的也转得快200倍。这使我们有可能检验在距离比我们以前所能达到的小200倍的情况下，量子电动力学的理论是否仍然有效——虽然这个距离比起这个理论恐怕会遇到无穷大问题的距离仍大10^{80}倍。（见149页的注释[1]）

我们已经知道一个电子可以和一个W耦合（见图85）。当一个d夸克放出一个W而变为u夸克时，这个W可否不同电子耦合，而同μ子耦合呢？可以（见图90）。那么反中微子怎么样呢？在W同μ子耦合的情况下，一种叫作μ^-中微子的粒子取代了普通中微子（现在我们要把它叫作电子-中微子）。这样，现在我们的粒子表上紧挨着电子和中微子的地方又多了两种粒子——μ子和μ^-中微子。

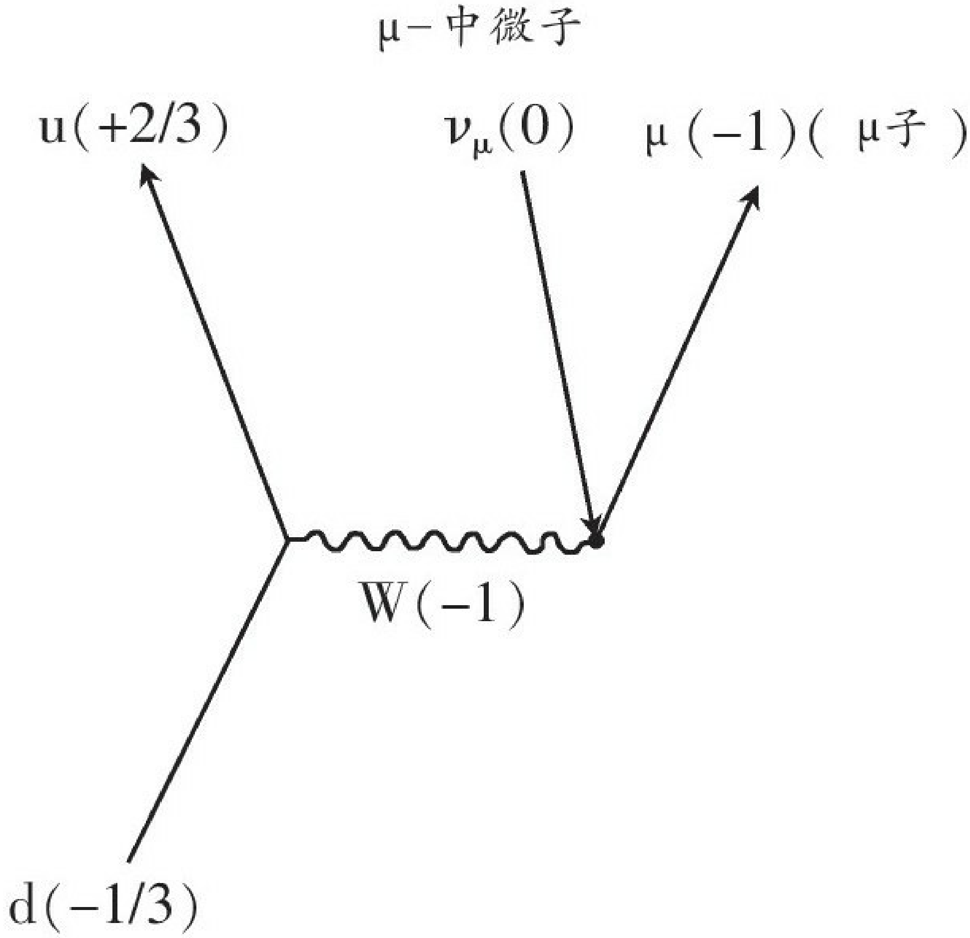


图90　W有发射一个μ子（而不是电子）的振幅，在这种情况下，μ-中微子取代电子-中微子的位置。

那么夸克怎么样呢？从很早的时候起，人们就知道有一些粒子是由比u和d还重的夸克构成的。这样，第三类夸克就进入了基本粒子的行列——它叫作s，s是取自“strange”（奇异）的字头。这个s夸克的质量约为200MeV，相比之下，u和d夸克只有大约10MeV。

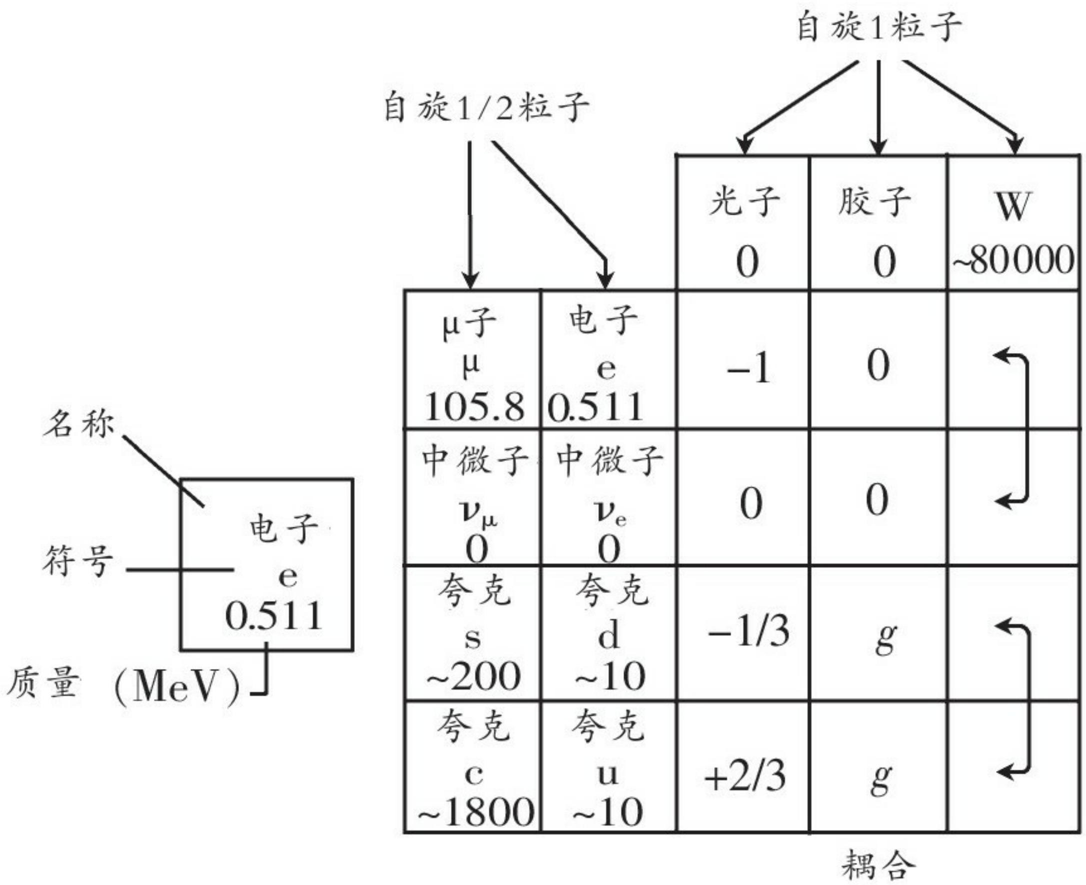


图91　看来自然界是在重复自旋1/2的粒子。除了μ子和μ-中微子以外，还有两种新夸克（s和c），它们同旁边一行位置相应的粒子相比，电荷相同，质量则重得多。

有许多年我们一直以为只有三种“味”的夸克——u、d和s，但在1974年，一种叫作ψ子的新粒子被发现了，它不能由这三种夸克组成。不过那时也有个很好的理论上的论据说，非存在第四种夸克不可，这种夸克同W耦合变为s夸克，就同u与d跟W耦合的情况一样（见图91）。这种夸克的“味”叫作c，至于这个c是指什么[5]，我可没有勇气告诉你们，好在你们可以去看报纸。名字是越起越糟了。

具有相同性质但质量要重得多的粒子的不断出现，是个完全不可思议的谜。这个图像的这种奇怪重复是怎么回事呢？正像拉比（I.I.Rabi）教授在发现μ子时所问的：“是谁命令它们这样的？”

最近，另外一轮重复开始了。在我们把能量提得越来越高时，看起来自然界是在不断地把这些粒子重叠架高，好像要让我们陶醉似的。我必须把这些讲清楚，因为我想让你们知道自然界实际看上去是多么明显地复杂。如果我给你们这样一个印象，由于这个世界上同电子和光子有关的现象我们已解决了99%，那么剩下的1%只需再有另外的1%的粒子来解释就足够，那就全错了。实际上要解释这1%的现象，我们需要另外多用十倍、二十倍的粒子。

好，让我们再往前看，随着在实验中使用甚至更高的能量，我们发现了一个甚至更重的电子——名为τ子，它的质量是1800MeV，有两个质子那么重！从这个粒子自然推断出有τ^-中微子存在。现在又发现了另一个有趣的粒子，这意味着存在一种新“味”的夸克——这次叫它“b”[“beauty”（美丽）的字头]，它的电荷为-1/3（见图92）。好了，现在我想请你们暂时变成一个高水平的基础理论物理学家，请你们预言一下：下一个新味的夸克将被发现，它叫作“____”（取自“____”的字头），它的电荷是____，质量是____MeV，而我们当然希望你的预言是对的，这种夸克确实存在！[7]

在这期间，实验还一直在进行，看这个循环是否还能再重复。目前正在建造各种机器来寻找甚至比τ子还重的电子。如果这个假想的粒子质量是100000MeV，我们的机器可造不出这么重的粒子。但如果它是40000MeV左右，这些机器就有本领把它造出来。

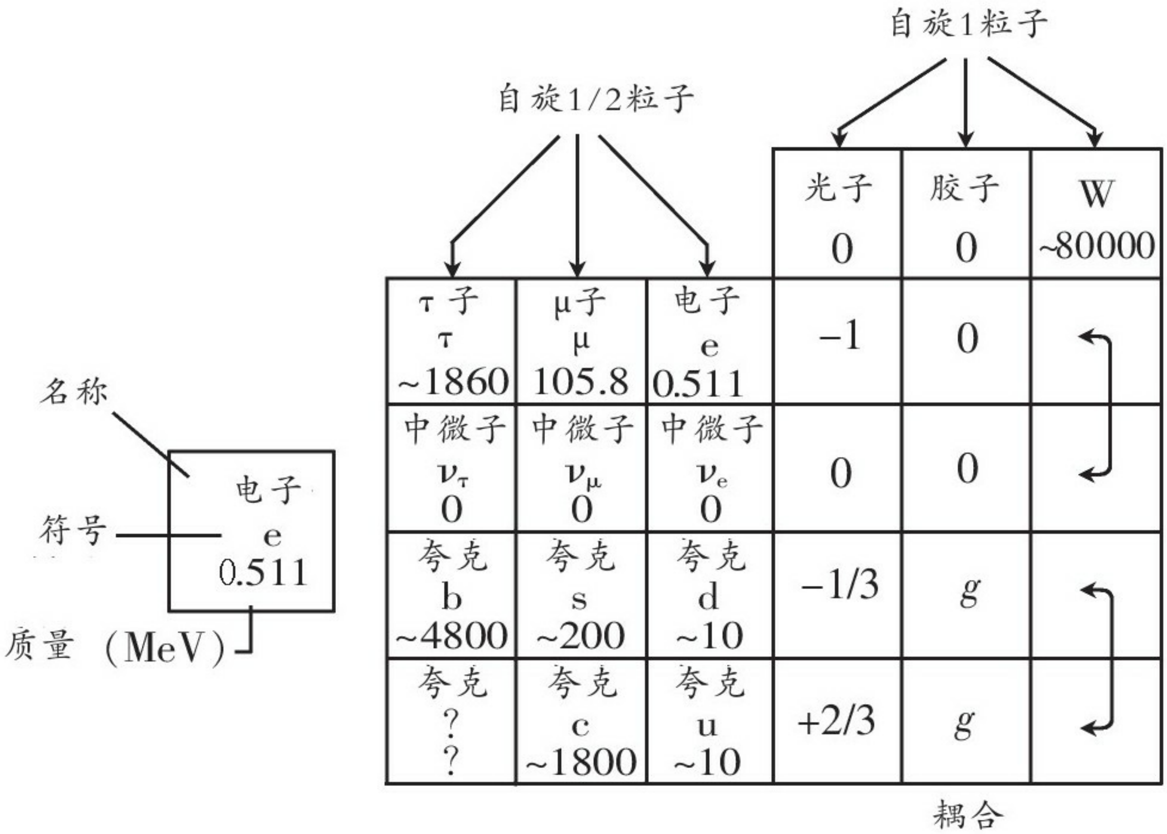


图92　这里我们又重来一遍！自旋1/2粒子在能量甚至更高的基础上开始了另一轮的重复。如果发现一个粒子，它所具有的性质隐含着一种新夸克的存在，那么这一轮重复就算完成了。在此期间，寻找在甚至更高能量基础上的另一轮重复的准备工作又开始了。至于到底是什么东西导致这样的重复，则完全是个谜。

对于理论物理学家来说，这种不断重复的循环真有趣极了：大自然给我们出了这么美妙的智力测验题！大自然，她为什么要重复地造出质量为206倍、3640倍的电子呢？

现在我想讲最后一个问题，这样，关于粒子的问题就讲完整了。虽然d夸克同W耦合会变成u夸克，但它还有一个可变为c夸克的小振幅。u夸克虽然可变成d夸克，但它还有一个小振幅可以变为s夸克，甚至还可以一个更小的振幅变为b夸克（见图93）。这样，W就把事情“弄糟”了，它使得夸克可从表中的一行跳到另一行。为什么这些夸克拿出

相当比例的振幅变为另一种夸克，这我们完全不知道。

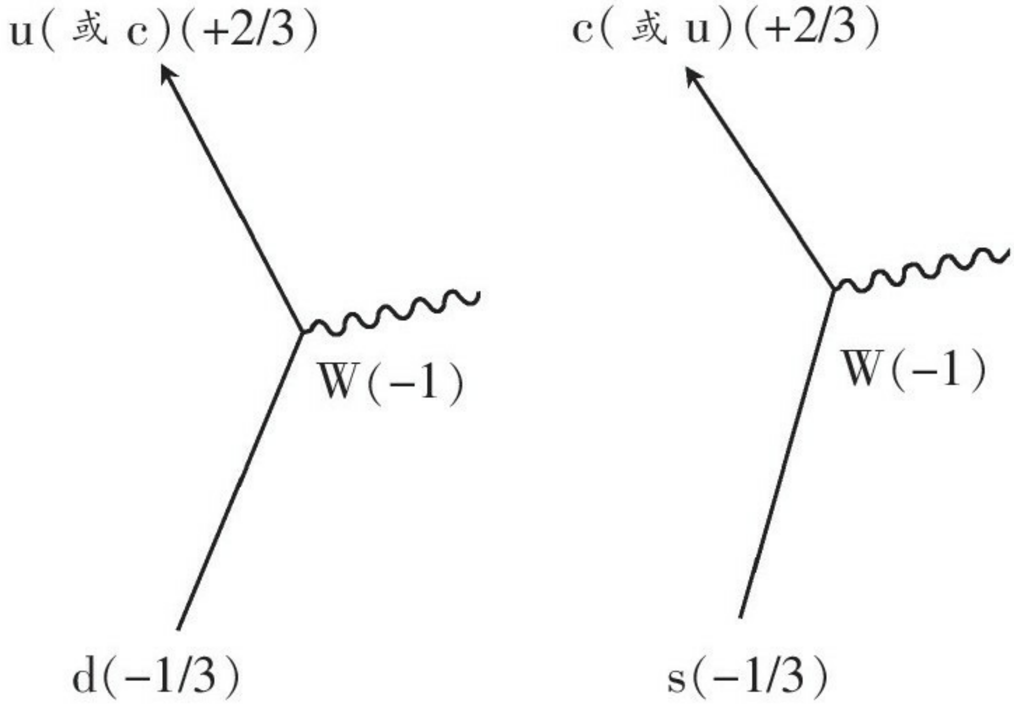


图93　d夸克（除可变为u夸克外）还有一个很小的振幅变为c夸克，s夸克（除可变为c夸克外）还有一个很小的振幅可变为u夸克，两种情况下，都将释放出一个W。所以看来W能够通过改变夸克的味，将表中一行的夸克变为另一行的夸克。（见图92）

好了，量子物理的其余部分我都讲完了。它真是混乱得可怕，你可能会说物理学把自己引入了混乱的绝境，但事情从来就一贯如此。自然界一直就是看起来乱得吓人，但随着我们的前进，就会看到成形的图像，我们也随之把理论综合在一起，这样，一定程度的清晰就会出现，事情就变得简单一点。我刚才给你们描述的混乱状况要比十年前（如果那时我给你们讲这个题目的话）的混乱小得多了，那个时候我要讲400多种粒子。再想想20世纪初的那个混乱情况吧：那时有热、磁、电、光、X射线、紫外线、折射率、反射系数，以及各种不同物质的一大堆其他性质，而自那以来，我们已经把所有这些纳入了一个理论：量子电

动力学。

有个问题我想着重讲几句。物理学其余部分的那些理论同量子电动力学的理论很相像：它们都把自旋1/2的物体（如电子和夸克）同自旋1的物体（如光子、胶子、W等）的相互作用纳入振幅结构之内，根据这个结构，一个事件发生的概率就是代表这个事件的箭头长度的平方。为什么物理学所有这些理论在结构上这样相像呢？

有几种可能性。第一是物理学家的想象力有眉限：在看待一个新现象时，我们总是试图把它纳入已有的框框里去，直到实验相当多了，我们才会发现旧框框已经不灵了。有个愚蠢的物理学家1983年在加利福眉亚大学涪杉矶分校上课时曾说："这就是自然界的工作方式。这些理论看起来是多么奇妙的相似啊！"虽然他是这么说，但理论的相似并不是因为自然界实际上真的相似，而是因为物理学家只会这么该死地一而再、再而三地以同样的方式想事情。

还有一种可能性是，它确实就是这么个一再重复的相同的玩意儿——就是说，自然界办事情就这么一种方式，没完没了地重复她的这点子事。

第三个可能性是，事情看起来相似是因为它们是同一个事物——一个较大的背景图像的各不同的方面，这个较大的图像分裂成各不同的部分，就使得事情看起来不相同，就像一只手上的几个手指头一样。许多物理学家正在非常勤奋地工作，以期拼凑出一个大图像，它能将所有的一切统一于一个博大恢宏的模式之中。这是一个令人神往的追求目标，但是关于这个大图像是什么样子，目前没有一个思辨家同任何另一个思辨家能想到一起去。如果我说这些思辨理论中的大多数并不比你们关于t夸克可能性的猜测深刻，如果我向你们保证他们对t夸克质量的估计也不会比你们的好，这种说法即使是稍稍有一点夸张，也不会太离谱。

例如，看起来电子、中微子、d夸克和u夸克它们都是挺有缘分的——的确，前两者可同W耦合，后两者也是如此。现在人们一般认为夸克只能改变它的“色”和“味”，但是也许夸克在同一种尚未发现的粒子耦合时，能衰变为中微子。这真是个好主意！那么会怎么样呢？这意味着质子是不稳定的。

有人提出这么一个理论：质子是不稳定的。他们做了个计算，并发现宇宙中将不再存在质子了！他们于是摆弄数字，令新粒子有较高的质量，在做过许多努力之后，他们就预言质子将以某一速率衰变，而他们所预言的速率要略小于实验上最新测定——其测定值说明质子至少不会以这个速率衰变——的速率。

在一种新的实验和更加仔细地测定质子之后，这些理论就要修正以逃避压力。这些理论在没有退路的背水一战中曾预言了一个质子衰变速率，而最新的一个实验表明，质子不会以比它慢五倍的速率衰变。你们猜，这回怎么着？这长生不死鸟又再一次飞起来，对理论做了新的修正，需要更新的试验检验它。质子究竟是否衰变，现在仍然不得而知。要证明它不衰变，那是很困难的。

在所有这几讲中，我都没有讨论万有引力问题。原因是两物体之间的万有引力作用极其微弱：万有引力比两电子之间的电力要弱1后面40个0（或许是41个0）那么多倍。事实上，几乎所有的电力都用于将电子维系在它们的原子核附近，相互抵销的吸引力和排斥力在这里形成了一个相当平衡的混合体。但万有引力的情况不同，它只有吸引力，随着原子的越来越多，引力就不断地加大，直到最后，硕大的质量到达有我们身体这样重时，我们就可以开始测量万有引力——对行星、对我们自身，等等——的影响。

由于万有引力比其他任何相互作用都要微弱得多，所以，要把测量万有引力效应的实验做得精确到需用精致的量子万有引力理论来解释的

程度，目前还办不到。[8]不过即使理论尚无法检验，万有引力的量子理论倒是确有几个，它们包含了“引力子”（列在新的一类极化的名下，叫作“自旋2”）和其他一些粒子（其中一些的自旋为3/2）。这些理论中最好的理论也不能把我们已发现的粒子都包括进去，却发明了许多我们并未发现的粒子。万有引力的量子理论也遇到耦合项无穷大的问题，但是，使量子电动力学成功地摆脱“无穷大问题”的那个“癫狂的步骤”却无法解救万有引力的危难。所以，我们不仅没有可以检验量子万有引力理论的实验，就连说得通的理论现在也敬告阙如。

综观以上所讲的全部内容，有一个问题还是让人特别不满意，这就是粒子的观测质量m。至今还没有一个理论能对质量数做出很恰当的解释。我们在所有的理论中都使用质量这个数，但是我们不理解它——它到底是什么，是从哪里来的。我相信，从最基本的观点来看，这是个很有意思、需认真对待的问题。

如果这些关于新粒子的推测把你们搅糊涂了的话，我感到很抱歉，不过，我决定给你们讲讲那些定律的特点以结束我对物理学其余部分的讨论，是因为那个特点包括振幅结构、用来表示（被计算的）相互作用的图，等等，看来都与量子电动力学相同，而量子电动力学是好理论的最佳榜样。

注释

1. 描述这个困难的另一个方法是说，关于“两点可以无限靠近”的想法恐怕是错的——即我们可把几何学一直用到最后一道刻痕的假设是错误的，如果我们把两点间的最小可能距离定为小到10^{-100}厘米（今天实验上所涉及的最小距离是在10^{-16}厘米左右），这样“无穷大”就消失了。好，就算这样吧——但另外一些不协调又出现了：比方，一个事件的总的可能性加起来会略微大于或略微小于100%，或者我们得到无穷小的负能量。也有人提出，这个不自洽的起因是由于我们没有把引力效应

计算在内——引力在一般情况下非常微弱，但在这样极小距离上，它变得重要了。

2. 虽然在高能实验中有许多粒子从原子核里面出来，但在低能实验（这是更常见的一般情况）中，人们发现原子核只包含质子和中子。

3. 100万电子伏是很小的，100万电子伏的粒子只有大约1.78×10^{-27}克。

4. 注意命名："光子"来自希腊文的"光"字，电子来自希腊文的"琥珀"（电学始于琥珀）。但是随着现代物理学的进展，人们对用希腊文给粒子命名越来越觉得乏味，直到这次，我们索性创造了"gluons"（胶子）这个名字。你能猜出它们为什么叫"胶子"吗？事实上，d和u都是各指一个词，不过，我不想把你们弄糊涂了——一个d（"down"，底）夸克并不在u（"up"，顶）夸克的下面。附带说一句，所谓d、u，指的是夸克的"味"。

5. 在这个讲座之后，实验达到足够高的能量已将W本身产生出来。它的质量很接近理论预测值。

6. μ子的磁矩已测量得非常精确——这个值是1.001165924（不定度为小数点后最后一位9），而电子的磁矩是1.00115965221（不定度为小数点后最后一位3）。你恐怕感到有点奇怪，想知道为什么μ子的磁矩比电子的磁矩稍稍高一点。我们的图中，有一个是表示一个电子发射出一个光子，这个光子又蜕变成一个正电子-电子对（见图89）。也还有另一种可能性，即这个被发射出来的光子形成一个μ子-反μ子对，它比当初的电子对要重。此外，当μ子发射一个光子时，如果这个光子产生一个正电子-电子对，这一对要比当初的μ子对轻，而如果产生一个μ子-反μ子对，它会有同样的质量。量子电动力学能够精确地描述μ子的所有的电性质，就像它描述电子一样。

7. 这个讲座之后，又发现有证据表明存在着一种质量非常高的夸克——t夸克，其质量约为40000百万电子伏。

8. 爱因斯坦和其他一些人曾试图将万有引力理论和电动力学统一起来。这两个理论都只是经典近似，换句话说，他们都不对。这两个理论都没有我们今天认为是必不可少的振幅结构。

附在校样上的注释1984年11月

这个讲座之后，在实验中又观测到一些可疑的事件，由此可能很快会发现一些过去想象不到的（因而是这个讲座中未提及的）新粒子和新现象。

附在校样上的注释1985年4月

上面提及的那些“可疑事件”现在看来是虚惊一场。到你阅读这本书时，情况无疑还会有变化。物理学中事情变化之快往往超过书籍出版的速度。

[1]电子是1897年由J.J.汤姆逊（J.J.Thomson）发现的。——译注

[2]应该说是1913年，这一年N.玻尔（Niels Bohr）提出了原子中电子绕核旋转的模型——译注。

[3]Pandora's Box，意即麻烦的根源。——译注

[4]R，取自“Red”（红的）字头；G，取自“Green”（绿的）字头；B，取自“Blue”（蓝的）字头。——译注

[5]c取自“charm”（妩媚，迷人）的字头。——译注